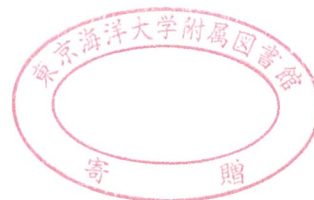


# 国際海上輸送における鉄鉱石輸入を対象とした物流コスト及びCO2排出量の削減に関する研究

|        |   |
|--------|---|
| 著者     | 鈴木 ひろか  |
| 学位授与機関 | 東京海洋大学  |
| 学位授与年度 | 2015  |
| URL    | <a href="http://id.nii.ac.jp/1342/00001387/">http://id.nii.ac.jp/1342/00001387/</a> |



## 目次

|   |    |
|---|----|
| 第1章 序論  | 1  |
| 1.1 研究背景  | 1  |
| 1.1.1 物流コストにおける現状                                 | 1  |
| 1.1.2 CO <sub>2</sub> 排出量における現状                   | 6  |
| 1.1.3 日本における物流コスト及びCO <sub>2</sub> 排出量に関する取り組みと課題 | 9  |
| 1.2 研究目的  | 11 |
| 1.3 既存研究  | 13 |
| 1.3.1 物流コストに関する既存研究                               | 13 |
| 1.3.2 CO <sub>2</sub> 排出量に関する既存研究                 | 15 |
| 1.3.3 既存研究と研究課題                                   | 17 |
| 1.4 本論文の構成  | 18 |
| 1.5 第1章に関する参考文献                                   | 20 |
| 第2章 鉄鉱石の海上輸入における現状と課題                             | 22 |
| 2.1 鉄鉱石輸出入の現状                                     | 22 |
| 2.1.1 鉄鉱石における海上荷動き量の概要                            | 22 |
| 2.1.2 鉄鉱石輸出国の現状                                   | 23 |
| 2.1.3 鉄鉱石輸入国の現状                                   | 25 |
| 2.2 船舶動静データを用いた輸送形態の現状分析                          | 26 |
| 2.2.1 船舶動静データ                                     | 26 |
| 2.2.2 積出港・荷揚げ港別の鉄鉱石輸出入量                           | 27 |
| 2.2.3 鉄鉱石輸入における荷揚げ港別の寄港頻度と船型                      | 29 |
| 2.3 海運会社から見た鉄鉱石輸入の現状                              | 31 |
| 2.3.1 船舶の船型及び航路と運航契約                              | 31 |
| 2.3.2 航海士から見た鉄鉱石輸入の現状                             | 32 |
| 2.4 荷主から見た鉄鉱石輸入の現状                                | 34 |
| 2.5 鉄鉱石輸入における現状の課題                                | 36 |
| 2.6 第2章に関する参考文献                                   | 37 |
| 第3章 国際バルク戦略港湾政策における目標と課題                          | 39 |
| 3.1 鉄鉱石輸入における運賃と日本政府の動向                           | 39 |
| 3.2 国際バルク戦略港湾政策の概要                                | 41 |
| 3.3 戦略港湾における目標と現状                                 | 43 |
| 3.3.1 東京湾における主要航路と港湾                              | 43 |
| 3.3.2 木更津港の目標と現状                                  | 45 |



|  |           |
|--|-----------|
| 3.3.3 瀬戸内海における主要航路と港湾                              | 48        |
| 3.3.4 水島港の目標と現状                                    | 51        |
| 3.4 連携港湾の目標と現状                                     | 53        |
| 3.4.1 室蘭港  | 53        |
| 3.4.2 鹿島港  | 56        |
| 3.4.3 千葉港  | 57        |
| 3.4.4 川崎港  | 59        |
| 3.4.5 名古屋港   | 61        |
| 3.4.6 下津港  | 63        |
| 3.4.7 東播磨港   | 65        |
| 3.4.8 福山港  | 66        |
| 3.4.9 呉港   | 68        |
| 3.4.10 大分港   | 69        |
| 3.4.11 北九州港  | 70        |
| 3.5 海外の港湾における目標と計画                                 | 72        |
| 3.6 国際バルク戦略港湾政策の課題                                 | 74        |
| 3.7 第3章に関する参考文献                                    | 76        |
| <b>第4章 国際海上輸送におけるCO<sub>2</sub>排出量の削減に関する政策と課題</b> | <b>80</b> |
| 4.1 IMOにおける政策                                      | 80        |
| 4.1.1 CO <sub>2</sub> 排出規制に関する政策                   | 80        |
| 4.1.2 技術的手法  | 81        |
| 4.1.3 運航的手法  | 82        |
| 4.1.4 経済的手法  | 84        |
| 4.2 日本における具体的な取り組み                                 | 85        |
| 4.3 政策に対する課題                                       | 86        |
| 4.4 第4章に関する参考文献                                    | 87        |
| <b>第5章 物流コスト及びCO<sub>2</sub>排出量の算出式</b>            | <b>88</b> |
| 5.1 算出式の概要   | 88        |
| 5.2 物流コストの算出式                                      | 89        |
| 5.2.1 物流コストの内訳                                     | 89        |
| 5.2.2 物流コストの算出式                                    | 93        |
| 5.3 CO <sub>2</sub> 排出量の算出式                        | 94        |
| 5.3.1 CO <sub>2</sub> 排出量の内訳                       | 94        |
| 5.3.2 CO <sub>2</sub> 排出量の算出式                      | 95        |
| 5.4 寄港回数と必要隻数の算出式                                  | 96        |
| 5.5 算出するためのデータ                                     | 97        |

|                                     |            |
|-------------------------------------|------------|
| 5.5.1 貨物費                           | 97         |
| 5.5.2 燃料費                           | 98         |
| 5.5.3 港費                            | 100        |
| 5.5.4 減価償却費                         | 103        |
| 5.5.5 船員費                           | 104        |
| 5.5.6 保険料                           | 105        |
| 5.5.7 CO <sub>2</sub> 排出量           | 106        |
| 5.5.8 為替レートとCO <sub>2</sub> 排出権取引価格 | 107        |
| 5.6 第5章に関する参考文献                     | 108        |
| <b>第6章 分析対象とデータ</b>                 | <b>110</b> |
| 6.1 分析対象                            | 110        |
| 6.2 分析内容                            | 111        |
| 6.3 分析で用いるデータ                       | 114        |
| 6.3.1 需要量と航海距離                      | 114        |
| 6.3.2 船速と総航海時間                      | 116        |
| 6.3.3 各船型における必要水深と港湾の水深             | 117        |
| 6.4 第6章に関する参考文献                     | 121        |
| <b>第7章 鉄鉱石の海上輸入を対象とした感度分析</b>       | <b>122</b> |
| 7.1 船型の大型化の影響                       | 122        |
| 7.2 連携港湾数の影響                        | 125        |
| 7.3 連携港湾間の航海距離の影響                   | 130        |
| 7.4 需要量の影響                          | 132        |
| 7.5 航海距離の影響                         | 136        |
| 7.6 鉄鉱石の国際海上輸入を対象とした感度分析のまとめ        | 138        |
| 7.7 第7章に関する参考文献                     | 139        |
| <b>第8章 感度分析を踏まえた鉄鉱石の海上輸入</b>        | <b>140</b> |
| 8.1 具体的な港湾を用いた比較分析による効果の検証          | 140        |
| 8.1.1 比較分析の設定                       | 140        |
| 8.1.2 比較分析の結果                       | 142        |
| 8.2 感度分析を踏まえた鉄鉱石の海上輸入の最適化           | 144        |
| 8.3 鉄鉱石の海上輸入の設定                     | 146        |
| 8.4 総合評価                            | 148        |
| 8.5 第8章に関する参考文献                     | 149        |

|                                  |     |
|----------------------------------|-----|
| 第9章 鉄鉱石における海上輸入の最適化.....         | 150 |
| 9.1 定式化 .....                    | 150 |
| 9.2 前提条件及び制条件 .....              | 152 |
| 9.3 最適化で用いる記号とデータ .....          | 154 |
| 9.4 分析で用いるソフトウェアとモデルの記述 .....    | 157 |
| 9.5 最適化の結果 .....                 | 159 |
| 9.5.1 水深と荷揚げ貨物量を加味した最適化 .....    | 159 |
| 9.5.2 貨物量の上限を緩和した最適化 .....       | 164 |
| 9.5.3 貨物量の上限と水深の制約を緩和した最適化 ..... | 167 |
| 9.6 鉄鉱石における海上輸入の最適化のまとめ .....    | 170 |
| 9.7 第9章に関する参考文献 .....            | 171 |
| 第10章 結論 .....                    | 172 |
| 10.1 政策に対する提言 .....              | 172 |
| 10.2 研究のまとめと社会的貢献性 .....         | 174 |
| 10.3 今後の課題 .....                 | 176 |
| 10.4 第10章における参考文献 .....          | 177 |
| 謝辞 .....                         | 178 |

## 第1章 序論

### 1.1 研究背景

#### 1.1.1 物流コストにおける現状

日本は資源が乏しく、その多くを海外からの輸入に頼っている。輸出入は、重量ベースで99.7%(8億3,511万/8億3,511万トン)、金額ベースで73.0%(82兆3,400億/112兆7,940億円)となっている<sup>(1)</sup>。特に、石油や鉄鉱石などの天然資源の90.0%以上を海外からの輸入に依存している(図1.1-1)。

三大バルクの輸入量の構成を見ると、石炭は12億トン/年(原料炭3億トン/年、一般炭9億トン/年)、鉄鉱石は14億トン/年、穀物は4億トン/年である。バルク貨物の海上荷動き量に着目すると、石炭と鉄鉱石の二大バルクが大幅に増加している(図1.1-2)。両者を国内産に切り替える事は不可能であるため、海外からの輸入は必須である。特に鉄鉱石の伸び率は堅調に推移すると見通されている。

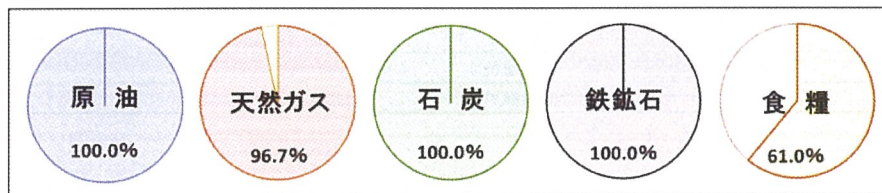


図1.1-1 日本における輸入貨物量(バルク貨物)<sup>(2)</sup>より作成

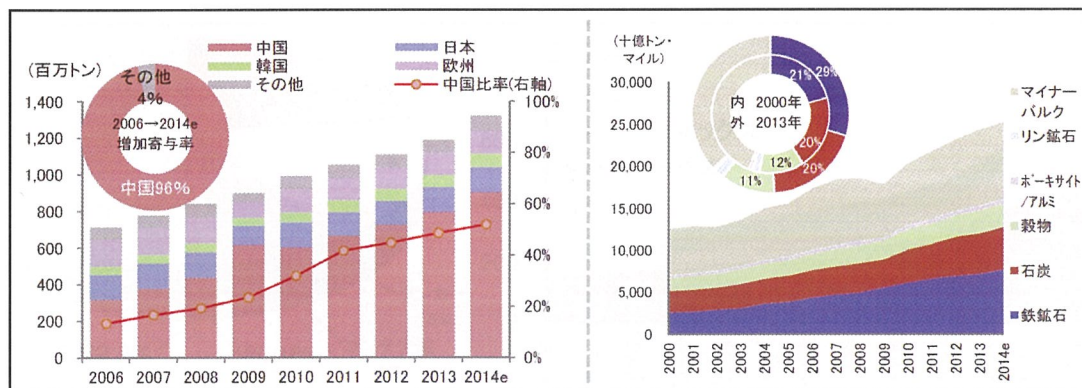


図1.1-2 国別の鉄鉱石輸入量・バルク海上荷動き量<sup>(3)</sup>より引用

世界的な船隊や船腹量を見ると一般バルク船が占める割合が最も多い(表1.1-1)。また、海上荷動き量を見ても、三大バルク貨物は年々増加している傾向にあり、2003年から2013年の10年間の伸び率は6.8%であった。品目別世界の荷動き量を見ると、石炭は5.3%、鉄鉱石は8.7%、穀物は3.3%と、鉄鉱石の伸び率が非常に高い事が分かる<sup>(5)</sup>。

世界では経済のグローバル化が進み、海上輸送の効率を向上させるため、一括大量輸送が進んでいる。現在では、中国や新興国などで、資源の需要量が著しく伸びているため、世界的な資源獲得競争が起こっている。それ故、スケールメリットを追求した事が背景として挙げられる<sup>(6)(7)(8)</sup>。



表 1. 1-1 世界の船隊と船腹量<sup>(4)</sup>より引用

| Propulsion Trends in Bulk Carriers |        |               |                  |      |
|------------------------------------|--------|---------------|------------------|------|
| Total fleet                        |        |               | % share of fleet |      |
| Existing fleet                     | Number | dwt           | Number           | dwt  |
| Bulk carriers                      | 10,036 | 720,864,300   | 31%              | 43%  |
| Tankers                            | 7,663  | 522,685,500   | 24%              | 32%  |
| Container ships                    | 4,873  | 217,784,000   | 15%              | 13%  |
| LNG and LPG carriers               | 972    | 45,392,300    | 3%               | 3%   |
| General cargo ships                | 6,721  | 84,478,000    | 21%              | 5%   |
| Other ship types                   | 1,961  | 70,454,400    | 6%               | 4%   |
| Total fleet                        | 32,226 | 1,661,658,500 | 100%             | 100% |

| Total orders         |        |             | % share of orders |      |
|----------------------|--------|-------------|-------------------|------|
| Order books          | Number | dwt         | Number            | dwt  |
| Bulk carriers        | 1,702  | 136,880,800 | 42%               | 49%  |
| Tankers              | 831    | 66,152,800  | 21%               | 24%  |
| Container ships      | 508    | 43,346,800  | 13%               | 16%  |
| LNG and LPG carriers | 264    | 13,680,900  | 6%                | 5%   |
| General cargo ships  | 361    | 6,971,300   | 9%                | 2%   |
| Other ship types     | 362    | 10,818,700  | 9%                | 4%   |
| Total orders         | 4,028  | 277,851,300 | 100%              | 100% |

図 1. 1-3 は、世界の船腹量と一般バルク船の船腹量の推移を示している。この図からも、船腹量で見ると一般バルク船の占める割合が多く、大型船の船腹量が年々増加している事が読み取れる。

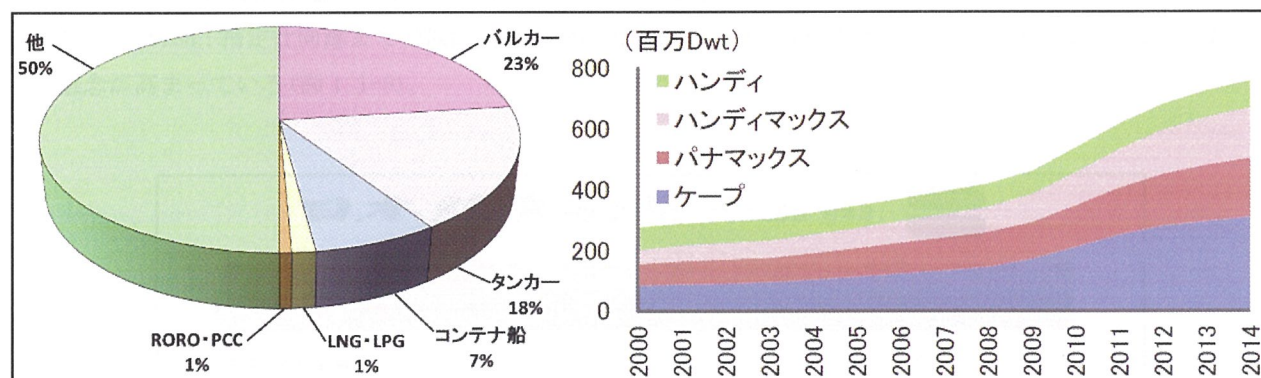


図 1. 1-3 世界の船腹量 (16 億 DWT : 2013 年) ・ 一般バルク船の船腹量の推移<sup>(11)</sup>より作成<sup>(3)</sup>より引用

また、参考文献(8)(9)によれば、ドライバルク市場において、Capesize 船(17 万 DWT 程度)船は石炭と鉄鉱、Panamax 船は穀物と石炭、比較的少量の鉄鉱石、Handysize 船(2 万～6 万 DWT 程度)船はマイナーバルクの輸送に用いられる傾向にある。世界的に大型船の導入が進んでいる傾向にあるが、その中でも、特に鉄鉱石を輸送する船舶の大型化が進んでいる。具体的には、ブラジルの総合資源開発企業である、Companhia Vale do Rio Doce S.A. が船型 40 万 DWT 級の VLCC 船を自ら建造している。それに伴い、ブラジルの鉄鉱石積出港では、水深-25m級のバース整備も進められている。

また、現在、世界最大の鉄鉱石輸入国である中国では、水深-23mを超える大水深バースを有する港湾を地域ブロック毎に配置している。更に、一括大量輸入した鉄鉱石をフィーダー輸送行で各地域に輸送している。



日本においては、2012年6月に大分県の大分港、2013年1月に千葉県の本更津港、そして2014年6月に茨城県の鹿島港に入港している。世界の鉄鉱石輸入の需要を多く占める極東地域では、2013年の時点では、全世界で7港に限られるという。

そこで、日本の海運会社(オーナー専業、オーナー・オペレーター兼業)が所有、または、運航している船種に着目すると、船種別の割合は一般バルク船が最も多い(44.0%) (図1.1-4)。以上の点から、本研究ではバルク貨物の中でも、鉄鉱石輸入に着目する。

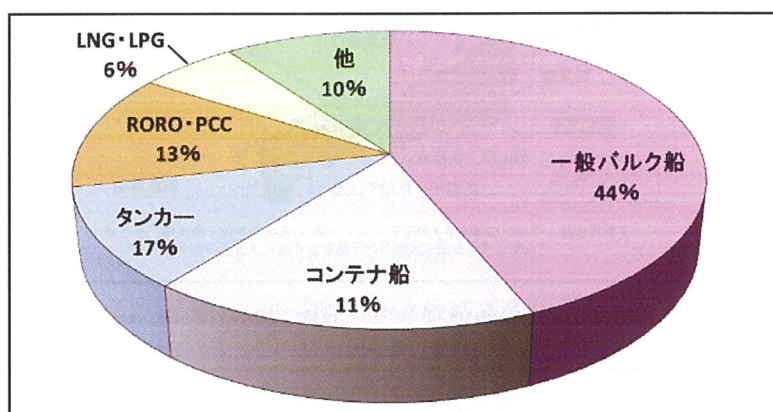


図1.1-4 日本の海運会社が所有、または、運航する船種の割合<sup>(9)</sup>より作成

現在の日本におけるバルク貨物輸入では、CIF 価格(Insurance and Freight, named port of destination: 指定仕向港までの保険料込みの運賃)の約40.0%は輸送費が占めており、高コスト構造に懸念が高まっている(図1.1-5)。

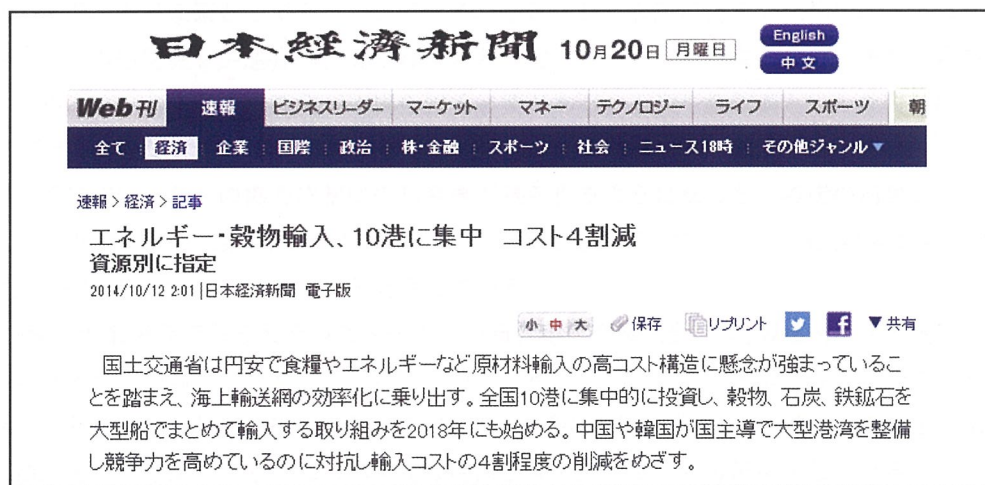


図1.1-5 物流コストに関する日本の政策<sup>(6)</sup>より引用

輸送コストを削減するため、日本政府は、三大バルクを対象とした、「国際バルク戦略港湾政策」を策定した。「選択」と「集中」による戦略港湾(拠点港湾)を選定し、大型船が就航出来るように整備を進め、安価、且つ、安定的な一括大量輸入をする事が政策の狙いである。戦略港湾として選定された港湾は下

記の通りである(図 1.1-6)。

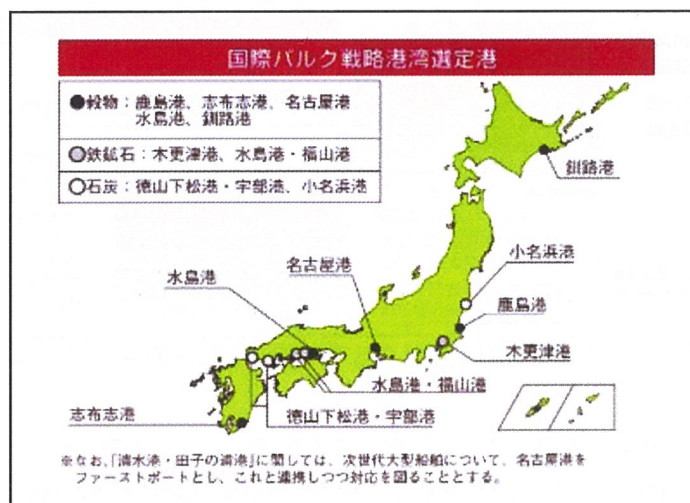


図 1.1-6 国際バルク戦略港湾<sup>(12)</sup>より引用

#### 国際バルク戦略港湾

穀物：鹿島港 釧路港 志布志港 名古屋港 水島港

鉄鉱石：木更津港 水島港・福山港

石炭：小名浜港 徳山下松港・宇部港

(五十音順)

当該政策では、選定された全国9港の戦略港湾に対する集中的な投資や、大型船を利用した複数港揚げ、港湾の連携などが政策として挙げられている。指定された戦略港湾を効果的に活用するためには、企業や港湾、その他関係者が連携し、海上輸入の共同化を行わなければならない。また、複数港揚げを推進するためには、企業間や港湾間が連携を図る必要がある。石炭や鉄鉱石といった資源は、荷主やメーカー(消費者)が異なるため、現実問題、実現が難しいと言える。

しかし、近年では、荷主の協力体制に少し動きが見られるようになった。石炭の消費者である四国電力株式会社と中国電力株式会社は、大型船による共同配船を計画しているのである(図 1.1-7・左)。2015年4月に、共同配船を始めて実施すると発表している。

また、鉄鉱石の消費者である大手製鉄メーカーの新日鐵住金株式会社は、製鐵所のある港湾において、大型船の受け入れを計画している(図 1.1-7・右)。木更津港、鹿島港、大分港は大水深岸壁を有しており、大型船を複数港に入港させる計画を立てている。実際に、当該港湾では船型40万DWTのValemax船の入港実績があり、今後も大型船に対応可能な港湾整備を進めていく方針を示している。



## 電気新聞

The Denshi Shinbun

ホーム ニュース 出版物 イベント 広告・特集 電気新聞について

トップ 主要ニュース 電力・エネルギー 産業・技術 工事・保安 地域 フォト スペシャル エネルギー世界プレスリリース

ホーム > ニュース > 主要ニュース > 記事本文

**NWS 主要ニュース**

### 四国電力と中国電力、豪州炭を共同輸送へー福山港に14万トン

2015/04/07

四国電力と中国電力は6日、海外炭の共同輸送を同社で初めて実施すると発表した。18万トン級の大型外航輸送船(ケーブ船)のスポット市況が大幅に下落していることを背景、同じ福山港(広島県福山市)を荷揚げ港として利用する豪州炭計14万トンを共同輸送することで合意した。同社とも増大する火力燃料費の低減が大きな課題となっており、今回のような輸送コストの低減につながる取り組みを通じて、低廉で安定的な燃料調達を進めたいとしている。



今回の共同輸送に使用される「ケーブ船」

### 大型原料輸送船「VALE MAX」の受入体制整備

#### 3製鉄所で受入が実現: 大型船化によるコスト削減効果



6月に大分、君津、鹿島で受け入れた Vale Brazil

**VALE MAX**

- ・ブラジルVALE社が運航する40万トン級大型船(満載喫水23m)
- ・日本が過去受け入れてきた鉱石船の中で最大船型

在庫状況に応じた大型船のフレキシブルな配船が可能に

- ✓ 鉱石トナリ輸送料の削減
- ✓ 受入可能港の増加による滞船料発生リスクの軽減



| 港名 | 岸壁水深 | 初入港   |
|----|------|-------|
| 大分 | 27m  | 12.6月 |
| 君津 | 19m  | 13.1月 |
| 鹿島 | 19m  | 14.6月 |

図 1.1-7 共同配船の新聞記事と複数港揚げの構想 (14) (15) より引用

上述した通り、近年では、輸送コストを削減するため、荷主側に動きが見られるようになった。一方で、日本政府による「国際バルク戦略港湾政策」では、2009年に第1回目の検討委員会が開催され、2011年に戦略港湾が選定された。しかし、当該政策が海運会社や他関係者にはあまり知られていないのが現状である。当該政策により、コストを4割削減する事を目標としている。しかしながら、就航可能目標とすべき船舶の船型や、その船型を用いた場合に期待出来る削減効果など、定量的な検討はされていない。

上記の内容を纏めると、下記の3つの点が現状として挙げられる。

- (1) 日本は資源の90%以上を輸入に依存しており、石炭と鉄鉱石の輸入量は今後も増加する
- (2) 世界中で一般バルク船、特に鉄鉱石船の大型化が進んでいる
- (3) 日本においてコスト構造に懸念を抱いており、政策を策定したが議論があまり進んでいない

### 1.1.2 CO<sub>2</sub>排出量における現状

国際海上輸送における GHG (Greenhouse Gas : 温室効果ガス) 排出量が、近年問題になっている。人為起源の GHG 排出量に占めるガスの種類別割合は CO<sub>2</sub> (二酸化炭素) が 76.0%、CH<sub>4</sub> (メタン) が 15.8%、N<sub>2</sub>O (一酸化二窒素) が 6.2% である (図 1.1-8)。本研究では、全体の 65.2% を占める、化石燃料に由来する CO<sub>2</sub> 排出量に着目する。

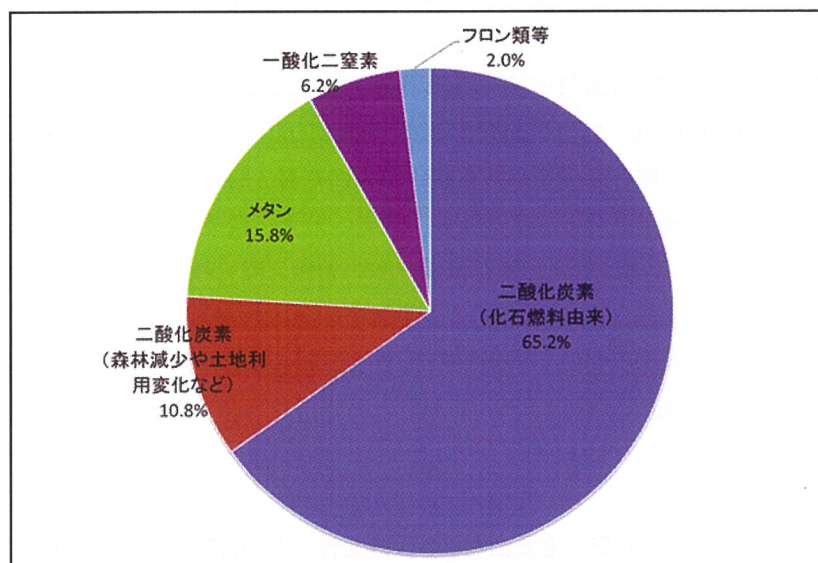


図 1.1-8 人為起源の温室効果ガスの総排出量に占めるガスの種類別の割合<sup>(16)</sup>より引用

全輸送機関において、海運輸送は非常に「エコな輸送機関」と言われる事が多い。陸運、海運、空運別のトンキロあたりの CO<sub>2</sub> 排出量を図 1.1-9 に示す。陸運 (トラック輸送) が 435.0g-CO<sub>2</sub>/トンキロであるのに対し、海運におけるコンテナ輸送は 3.0g-CO<sub>2</sub>/トンキロ、オイルタンカーは 5.9g-CO<sub>2</sub>/トンキロ、一般バルク船は 7.9g-CO<sub>2</sub>/トンキロであった。この事からも、輸送機関別で見ると海運、特にコンテナ輸送からの CO<sub>2</sub> 排出量は非常に少ない事が分かる。

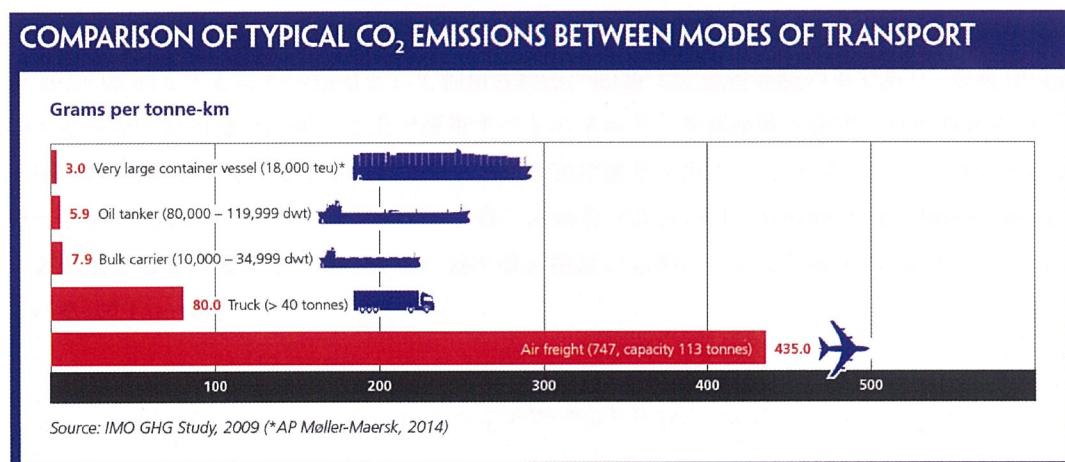


図 1.1-9 CO<sub>2</sub>排出量の輸送手段による比較<sup>(21)</sup>より引用

しかし、IMO(International Maritime Organization：国際海事機関)の推計よれば、国際海上輸送からのCO<sub>2</sub>排出量は、2007年においては約8億8500万t-CO<sub>2</sub>/年(世界で排出されるCO<sub>2</sub>排出量の2.8%)であった<sup>(17)</sup>。これは、ドイツ1国における年間排出量に相当する。UNFCCC(United Nations Framework Convention on Climate Change：国連気候変動枠組条約)や京都議定書(Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change：気候変動に関する国際連合枠組条約の京都議定書)では、割り当てが困難なため、国際海運におけるCO<sub>2</sub>排出量は除外されていた。しかし、新興国の経済発展・成長に伴う海上荷動き量の増加が予測され、IMOではCO<sub>2</sub>排出量の抑制対策を審議するようになった。

IMOでの対策は、技術的手法・運航的手法の技術的パッケージ(MARPOL条約付属書VI：International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, 1973, as modified by the Protocol of 1978 relating thereto Annex VI)と経済的規制の経済パッケージ(MBM：Market-Based Measures)の二方向から進められている。前者を第一世代の規制、後者を第二世代の規制としており、第一世代の規制開始時期は2013年からであるが、第二世代の規制開始時期は未定である<sup>(17)(20)</sup>。

2013年1月にMARPOL条約附属書VIが改正され、EEDI(Energy Efficiency Design Index：エネルギー効率設計指標)とSEEMP(Ship Energy Efficiency Management Plan：船舶エネルギー効率管理計画)が義務付けられるようになった。

技術的手法の評価指標であるEEDIは、新造船のCO<sub>2</sub>排出量を、設計・建造段階においてトンマイルあたりの排出量をインデックス化する。主機運転や補機運転、軸モーター運転における排出量を乗じた値を、積載能力や速力などを乗じた値で除した値である。この値が、一定値(Required EEDI)を下回るように設計する事が義務付けられている。

運航的手法は、減速航海やウェザールーティング、ジャストインタイムなどが挙げられる。実施を促進するツールとして、EEOI(Energy Efficiency Operational Indicator：船舶エネルギー効率運航指標)とSEEMPが提案されている。EEOIは、CO<sub>2</sub>換算係数と燃料消費量を乗じた値を実貨物重量と実航行距離を乗じた値を除したものである。これは、エネルギー効率を示す指標であり、海運会社(オペレーター)の運航計画や運航者の技術などで値が変動するため、他船と比較する事は適当でない。故に、自船の効率改善効果の評価をするための指標として利用される。SEEMPは、改善手順の事であり、計画(Planning：現状のエネルギー使用量を把握した上で適用すべきエネルギー改善措置の決定と目標設定を行う)、実施(Implementation：計画に従ってエネルギー効率改善措置を実施する)、モニタリング(Monitoring：エネルギー効率を定量的にモニタリングする)、自己評価及び改善(Self-evaluation / Improvement：モニタリング結果をもとに実施したエネルギー効率改善措置の効果について評価する)を繰り返し行う事を指している(図1.1-10)。



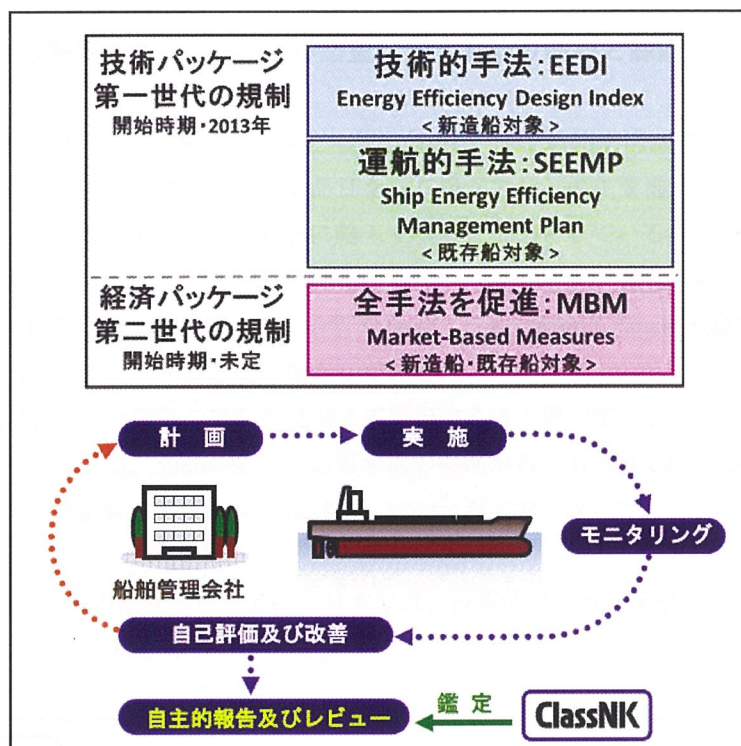


図 1.1-10 排出削減の手法 SEEMP・エネルギー効率改善サイクル<sup>(18) (20)</sup>より作成<sup>(19)</sup>より引用

経済的手法とは、経済的なインセンティブを与える事により、削減政策の目標を達成させる手法である。具体的には、課金制度や補助金制度、排出権取引制度が挙げられ、各国で議論が進んでいる。デンマークが挙げている「燃料油課金制度」は、燃料油を購入する際に一定額の課金が自動的に徴収される。その基金は、新興国に温暖化ガス削減プロジェクトなどに利用される。排出権取引制度は、国際海運からの CO<sub>2</sub> 総排出量の各船舶に割り当てられた排出枠と実際の CO<sub>2</sub> 排出量との差分が他船などと取引される制度である。

日本では、造船技術が優れていることから、国際海運市場においてエネルギー効率に優れた船舶の普及促進を加速させており、上記の 3 手法の中では技術的手法に力を入れている。2013 年からの 5 ヵ年計画では、国際海運からの CO<sub>2</sub> 排出量を 5 割削減する事を目標とした「次世代海洋環境関連技術支援事業」を開始している<sup>(18) (19) (20)</sup>。技術分野においては、船体分野 4 件、機関分野 5 件、次世代推進プラント分野 2 件、燃料転換分野 4 件、運航分野 2 件、再生可能エネルギー分野 1 件の計 6 分野 19 件のプロジェクトが存在する。

図 1.1-9 から、海運分野で比較した場合、一般バルク船の CO<sub>2</sub> 排出量が高い事が分かったため、本研究では、特に一般バルク船に着目する。

### 1.1.3 日本における物流コスト及びCO<sub>2</sub>排出量に関する取り組みと課題

日本において、物流コストを削減する政策として、「国際バルク戦略港湾政策」が策定されている。当該政策は、大型船舶の活用などにより、対象品目を取り扱うアジアの主要港湾と比べて遜色のないコスト・サービスを実現し、安定的、且つ、安価に輸入する事を目的としている。

戦略港湾での目標は、2015年までに現在主力となっている輸送船舶が満載状態で入港可能となる岸壁水深を有する事を目標としている。具体的な船型 Type は、石炭・穀物は Panamax 船で岸壁水深-14.0m、鉄鉱石は Capesize 船で-19.0mを必要水深としている。

また、2020年には、パナマ運河の拡張を見据えて登場する最大級の輸送船舶が満載状態で入港可能となる岸壁水深を目指している。船舶の船型と必要水深の関係から、石炭は Capesize 船で-19.0m、鉄鉱石は VLCC 船で-23.0m、穀物は Post-Panamax 船で-17.0mが必要となる<sup>(10)(22)</sup>。

IMO における CO<sub>2</sub> 排出量の削減手法を元に、日本では、技術的手法及び運航的手法において 19 件のプロジェクトがある。それらを図 1.1-11 に示す。

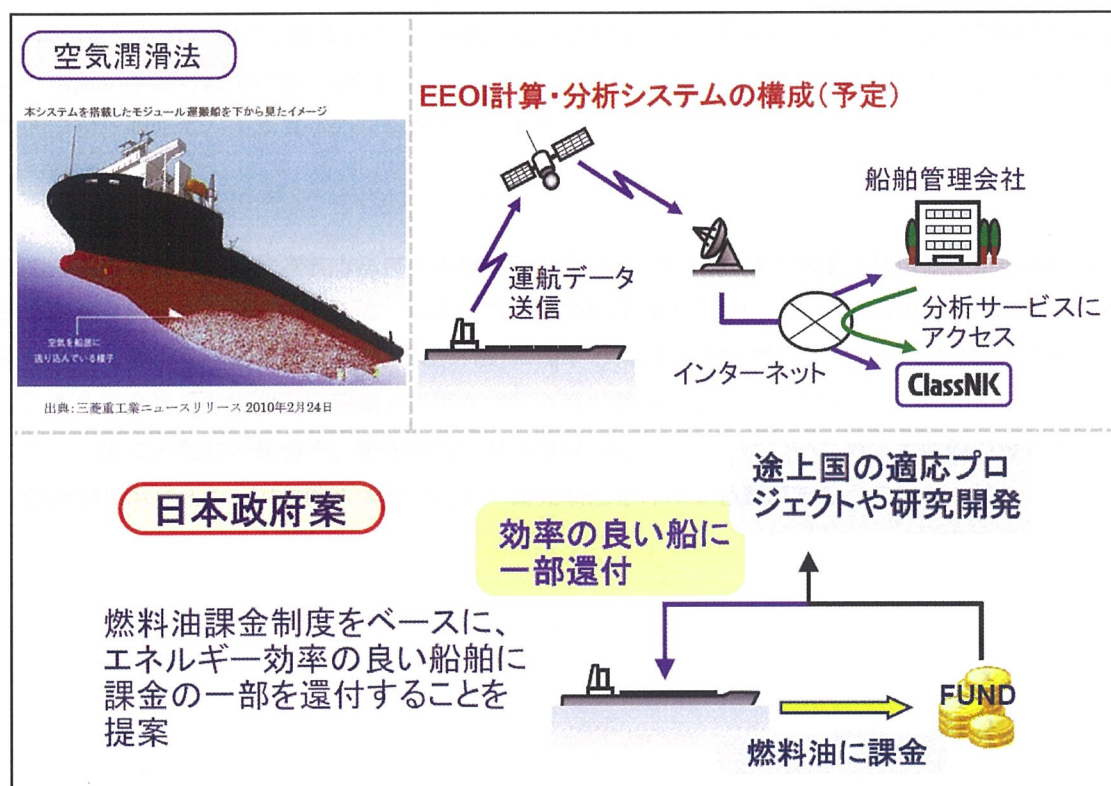


図 1.1-11 技術的手法・運航的手法・経済的手法<sup>(19)</sup>より引用

技術的手法は、抵抗軽減・推進効率向上、船隊摩擦抵抗軽減、プロペラ効率向上、ディーゼル機関の効率向上・廃熱回収、ハイブリッド推進システムの研究開発のプロジェクトがある。株式会社大島造船所や内海造船株式会社はバラスト水低減船の研究開発や波浪中抵抗増加の小さい船首形状の開発を行っており、ナカシマプロペラ株式会社や株式会社新来島ドックなどは限定小翼面積 NHV (Non Hub-Vortex)

プロペラの研究開発や翼間干渉影響を考慮した省エネ負荷物装置の研究開発などを行っている。

運航的手法は、運航・操船の効率化のプロジェクトが存在する。日本郵船株式会社や株式会社大島造船所が、国際運航管理システムの開発や操船支援システムの研究開発などを行っている。

経済的手法の日本政府案は、燃料油課金制度(デンマーク)をベースとし、エネルギー効率の良い船舶に課金の一部を還付する事を掲げている。

国際バルク戦略港湾政策では、大型船の導入によるコストの削減を目指しており、港湾や企業間の連携なども視野に入れている。

港湾毎に、2015 年と 2020 年における、目標船型は存在するが、目標船型の船舶を導入した場合の定量的なコストの削減効果は不明瞭である。大型船の導入に向けた、各港湾の取り組みや整備の現状も不明確である。

また、港湾の連携に関しては、戦略港湾をファーストポートとして活用する事やフィーダー輸送を行う際の拠点として活用するなど、方針が定まっていない。故に、港湾によって、戦略港湾の活用方法が異なっており、統一されていない。

CO<sub>2</sub>排出量の削減に関する政策のうち、運航的手法に関しては、ウェザールーティングや速力の最適化という措置が挙げられている。しかし、上述したプロジェクトの中で、技術的手法が大半を占めており、運航的手法に関して、より具体的な案が必要である。

以上の事から、大型船や運航方法による物流コスト及び CO<sub>2</sub> 排出量の削減を目指しているものの、具体的な議論は不十分であると言える。政策では、大型船を推進していく上での適切な目標船型、拠点港や連携港湾を用いた航路(荷揚港数や寄港方法)に関する検討が必要である。故に、定量的なデータに基づく、具体的な目標船型や港湾整備の計画を立てる事が課題として挙げられる。

また、一度に大型船の建造や、戦略港湾の港湾整備が行える訳ではないため、大型船の導入による大幅な削減効果が見込める対象輸入国を検討し、優先順位を付ける必要がある。



## 1.2 研究目的

本研究では、国際海運の鉄鉱石輸入における物流コスト及び CO<sub>2</sub> 排出量の削減に関する検討を行い、国際バルク戦略港湾政策や IMO の政策に関して、船舶の運航面での提言を行う。

詳細に述べると、物流コスト及び CO<sub>2</sub> 排出量を可能な限り削減するための運航パターンを検討する。

日本における資源の 90.0%以上が輸入に依存している点からバルク貨物に着目した。更に、日本政府の掲げている国際バルク戦略港湾政策の具体的な活用方法が検討されていない点と、国際海運における船種別の CO<sub>2</sub> 排出量は一般バルク船が最も多かった点(図 1.1-9)から、三大バルク貨物に絞り込んだ。その中でも、世界の海上荷動き量が年々増加している事と、コストを削減するための船型大型化が著しい事から、本研究では鉄鉱石を対象貨物とした。

運航パターンとは、船型と航路(荷揚港への寄港方法など)の組み合わせを指す。船型別や航路別に感度分析を行い、船舶の船型の違いや、荷揚港数の違いによる削減効果を定量的に示す。また、一度に大型船の建造や港湾の整備は出来ないため、大型船の導入における航路の優先順位をつける必要がある。そこで、航海距離や需要量などを変化させた分析を行う。更に、港湾水深や貨物の保管面積には制約があり、一括大量輸送が可能となっても入港や荷揚げが出来なければ、大型船を導入する意味が無くなってしまう。そこで、港湾水深と船型毎の必要水深と、一回あたりに荷揚げ出来る貨物量を考慮した分析を行う。その結果から、水深や保管場所に制約があった場合の考察や、港湾整備をどこから着手すべきか検討を行う。

以上の分析を踏まえ、日本の鉄鉱石輸入において、大型船を導入する際の目標船型や、航路などを提言する事を本研究の目的とする。具体的には、下記の 7 項目に関して検討及び考察を行う。

### (1) 鉄鉱石輸入の現状把握—第 2 章

鉄鉱石の世界的な貨物荷動き量などを整理する。更に国土交通省の統計データや Lloyd's 船舶動静データを用いた分析から、鉄鉱石輸入の現状を把握する。具体的には、各港湾の輸入量、その際に用いられる船型や航路(荷揚港への寄港方法など)を把握する。

### (2) 国際バルク戦略港湾政策の課題—第 3 章

国土交通省及び各港湾が掲げている目標のや計画を整理する。また、計画に対する整備などの進捗状況が不明確であるため、調査を行い、纏める。更に、検討が必要な課題の抽出を行う。

### (3) 国際海上輸送における CO<sub>2</sub> 排出量削減に関する政策の課題—第 4 章

IMO などで掲げられている政策の概要や、取り組まれている事を纏め、検討が必要な課題の抽出を行う。

### (4) 鉄鉱石の国際海上輸送を対象とした感度分析—第 7 章

船型、航海距離や需要量などのパラメータが変化した場合の、物流コスト及び CO<sub>2</sub> 排出量の傾向を把握すると共に、各パラメータがどのような影響を与えるかを明らかにする。大型船の導入に向

けた、目標船型を示す事、大型船を導入する航路の優先順位を付ける事、生産地や需要量が変わった場合にも対応が可能となるようにする事が感度分析の目的である。

(5) 感度分析の結果を踏まえた鉄鉱石の国際海上輸送—第8章

(4)の結果を踏まえ、船型及び航路(荷揚港への寄港方法など)を設定し、比較分析を行う。具体的な荷揚港の需要量や航海距離のデータに基づいた物流コスト及びCO<sub>2</sub>排出量の削減効果を検証する。

(6) 鉄鉱石の国際海上輸送方法の最適化—第9章

感度分析を踏まえた最適化を行う。その際、鉄鉱石の輸入を行っている日本の全港湾を対象とする。ソルバーによる最適化を行い、物流コスト及びCO<sub>2</sub>排出量が最小になるような運航パターンを明らかにする。その際、評価指標を総コストとし、物流コストとCO<sub>2</sub>排出量を貨幣換算した値を用いて、総合評価する。

(7) 政策に対する提言—第10章

第10章では、本研究のまとめと、政策に対する提言を行う。総コストが削減されるような、船舶の船型や航路(荷揚港への寄港方法など)の提案を行う。日本政府が策定した国際バルク戦略港湾政策やIMOの政策に対し、大型船の建造や港湾整備などを進めていく上での、目標船型や考慮すべき事項について提言する。



## 1.3 既存研究

### 1.3.1 物流コストに関する既存研究

次に、物流コストと CO<sub>2</sub> 排出量に関する既存研究に分けて説明する。

物流コストに関する既存研究は多数あるが、貨物量の推計、ドライバルク船の動向把握、費用の算出、ネットワークの設計、港湾政策・計画に関する検討の 5 つに絞り、下記の表 1.3-1 に纏めた。1.3.1 節では、物流コストにおける既存研究の詳細を分類ごとに記す。

表 1.3-1 物流コスト・政策に関する既存研究

| 分類                | No. | 筆者  | 題目   | 掲載物名  | 発行年月    |
|-------------------|-----|---|--|---|---------|
| 貨物量の推計            | 1   | 渡部富博・井山繁<br>佐々木友子・赤倉康寛<br>後藤修一              | 国際間の貿易・産業構造を考慮した<br>輸出入港湾貨物量推計モデル構築  | 国土技術政策総合研究所資料 No.49                           | 2011.12 |
|                   | 2   | 赤倉康寛・佐藤光子<br>高橋宏直                           | バルクキャリアの寄港実績と船型動向分析  | 運輸政策研究 Vol.4 No.2                             | 2001.04 |
|                   | 3   | 小門武   | バルク貨物を取り巻く世界の状況と<br>バルク貨物ターミナルの整備・拡張計画について   | 国際臨海開発研究センター<br>QUARTERLY 76                  | 2008    |
|                   | 4   | 赤倉康寛・二田義規<br>渡部富博                           | 北東アジアにおける三大バルク貨物の輸送動向の分析   | 国土技術政策総合研究所資料 No.525                          | 2009.03 |
|                   | 5   | 高橋宏直・竹村慎治                                   | NILIM-AISによる大型バルク船の<br>複数寄港実績に関する分析  | 国土技術政策総合研究所資料 No.549                          | 2009.12 |
| ドライバルク船の<br>動向把握  | 6   | 久保雅義・三木橋彦<br>安田孝志                           | 神戸港再生への一提案<br>-中継貨物の集貨策を中心として-   | 日本航海学会論文集 95号                                 | 1996.05 |
|                   | 7   | 鈴木武   | コンテナ船およびRORO貨物船の燃料消費量と<br>長距離内航RORO貨物船輸送における<br>燃料価格上昇の影響  | 国土技術政策総合研究所資料 No.494                          | 2009.01 |
|                   | 8   | Shun CHEN・Koos FROUWS<br>Eddy Van De VOORDE | Technical Changes and Impacts on<br>Economic Performance of Dry Bulk Vessels                                     | Maritime Policy & Management Vol.37           | 2010.05 |
|                   | 9   | Lisa Maria ABMANN                           | Vessel Speeds in Response to Freight<br>Rate and Bunker Price Movements<br>An Analysis of the VLCC Tanker Market | Norwegian School of<br>Economics Masterthesis | 2012.06 |
|                   | 10  | 黒川久幸・鶴田三郎<br>嶋邦彦                            | 海上コンテナ輸送ネットワークの設計に関する研究<br>-東・東南アジアを中心として-   | 日本航海学会論文集 101号                                | 1999.05 |
| ネットワークの<br>設計     | 11  | 白天雲   | パナマ運河拡張後のアジア-北米東岸における<br>輸送ネットワークに関する研究  | 東京海洋大学 修士論文集                                  | 2015.03 |
|                   | 12  | 赤倉健寛・瀬間基広                                   | 我が国へのドライバルク貨物輸送の効率化に向けた一考察   | 国土技術政策総合研究所資料 No.560                          | 2010.01 |
| 港湾政策・計画に<br>関する検討 | 13  | 鈴木理沙・黒川久幸<br>鶴田三郎                           | 我が国のドライバルク港湾における<br>政策効果の検証に関する研究  | 日本航海学会論文集 127号                                | 2012.09 |
|                   | 14  | 鈴木ひろか・森翔世<br>鈴木理沙・黒川久幸                      | 国際バルク戦略港湾政策と必要船隊及び<br>寄港に関する研究-鉄鉱石専用船を対象として-   | 日本航海学会第126回講演会                                | 2012.05 |
|                   | 15  | 竹内玲・黒川久幸                                    | 国際コンテナ輸送における地域間のつながりからみた<br>我が国のハブ港湾及び港湾整備に関する研究   | 日本航海学会論文集 129号                                | 2013.09 |
|                   |     |   |  |   |         |

No. 1 は、国際間における輸出入港の港湾貨物を対象とした、全輸出港湾貨物量に占めるシェアの推移や海上輸送の分担率、港湾貨物量当たりの単価などを取り纏めている。その上で、将来予測の基礎となるモデルの構造や基本的なパラメータを纏め、モデルを構築している。

No. 2 から No. 5 の研究は、バルク貨物を対象としており、港湾施策の企画及び立案するために動向把握を行っている。

No. 2 では、全バルクキャリアを類型化し、寄港回数や世界就航船の船型の動向を分析している。更に、日本の港湾における必要水深の検討をしている。その結果、世界においても、日本においても、就航する船型の大型化が進んでおり、日本の港湾では、水深-20.0m程度が必要水深として需要が伸びてきている事が明らかになった。また、問題点として、船舶の寄港実績や諸元と貨物流動データを同時に収集している機関が存在せず、両方を兼ね備えたデータベースの構築が困難である事を挙げている。

No. 3 は、バルク貨物を対象とした、世界の貨物荷動き量の推移、利用される船型の傾向を概説している。その上で、日本の主要港湾の航路や岸壁水深の一覧を示した結果、大分港を除くと、水深不足のために船型 30 万 DWT 級の船舶が満載で入港出来ない問題を指摘している。

No. 4 は、石炭・鉄鉱石・穀物輸送にかかる動向分析を行っている。具体的には、積出港及び荷揚港の抽出と各港湾に入港可能な船型の算出、船型 Type 毎の寄港実績の推移などを纏めている。世界的なドライバルク輸送における主力船型は、Panamax 船、Capesize 船、VLOC 船など大型船であるが、中国や韓国などの近隣諸国に対し、日本の港湾の水深不足が問題として挙げられている。特に、石炭輸送では、大水深岸壁を有する、ロシアや中国から Handysize 船以下の船型での輸送回数が増加している傾向がある事が明らかになった。

No. 5 では、水島港を荷揚港とした、具体的な運航パターンの現状と喫水率の把握を行っている。水島港に入港している大型船は、スケールメリットを活かすため、潮位を利用して 1 次寄港している場合が多い事が分かった。

No. 6 から No. 9 では、港費、燃料費など、費用の算出をしている。

No. 5 は、神戸港がハブ港として生き残るため、港湾利用時にかかる費用を細分化して算出しており、中継貨物を引きつけるために港湾料金を下げる事を提案している。

No. 6 及び No. 7 は、費用の中でも、特に燃料費に着目し、船型や船速を変化させた場合の費用削減効果を検討している。

No. 10 及び No. 11 では、コンテナ船を対象とした、輸送コストを最小化するためのネットワークの設計をしている。No. 9 では、パナマ運河が拡張する事から、船型にも着目した検討を行っている。

No. 12 から No. 15 では、日本政府の策定した、国際バルク戦略港湾政策及び国際コンテナ戦略港湾政策や港湾計画などに対し、物流コストや CO<sub>2</sub> 排出量の削減効果の検証を行っている。

No. 12 では、ドライバルク輸送における、一次輸送と二次輸送の関係を整理、輸送コスト算定手法の構築、船舶の大型化による輸送コストの比較などを行っている。全国にコールセンターが存在する石炭や直接積み替え可能な輸入拠点の多い穀物は、積出港からの国内二次輸送が多い傾向である事が明らかになった。輸送コストの算出などを行った結果、北東アジア主要国と比較すると、日本のバルク貨物輸送に効率的ではない面があった。大型船の就航を目指すには、セカンドポートとなる港湾の水深不足などを挙げている。

No. 13 及び No. 14 では、ドライバルク輸送における、船型の大型化と航路(荷揚港への寄港方法など)を変化させた、いくつかのパターンにおける輸送コストの算出を行い、比較している。No. 13 では、鉄鉱石の国際戦略港湾である木更津港を積出港としており、当該港湾に寄港する船舶を大型化する事で年間あたりの物流コスト削減量は 1,110 万 USD、CO<sub>2</sub> 排出量の削減量は 4 万 4,163t-CO<sub>2</sub> となった。更に、港湾の連携を行う事で大きな削減効果が見込める事が明らかになった。

No. 15 は、コンテナ輸送を対象としているが、港湾及び輸送パターン、寄港船舶の特徴を細かく見ている。削減の根拠や評価方法に言及しており、港湾の活用方法・機能という観点から、今後必要となる取り組みを提言している。

### 1.3.2 CO<sub>2</sub>排出量に関する既存研究

続いて、CO<sub>2</sub>排出量に関する既存研究を説明する。国際海上輸送における環境負荷低減に関する検討はされてきているが、本研究では、温室効果ガスの中でも最も割合の多いCO<sub>2</sub>排出量に着目する。CO<sub>2</sub>排出量の現状把握、CO<sub>2</sub>排出量の推計・算出、船型・輸送パターンと削減効果、規制・政策とCO<sub>2</sub>排出量の4つに絞り、表1.3-2に纏めた。1.3.2節では、CO<sub>2</sub>排出量・環境負荷低減における既存研究の詳細を分類ごとに記す。

表 1.3-2 CO<sub>2</sub>排出量・環境負荷低減に関する研究

| 分類                        | No. | 筆者   | 題目   | 掲載物名                                     | 発行年月    |
|---------------------------|-----|--|--|--|---------|
| CO <sub>2</sub> 排出量の現状把握  | 1   | 鈴木理沙・黒川久幸<br>鶴田三郎  | 我が国の小麦輸入におけるCO <sub>2</sub> 排出量の現状把握に関する研究   | 日本航海学会論文集 126号                           | 2012.03 |
|                           | 2   | 平岡克英・亀山道弘  | LCA解析のための外航貨物船の運航状況分析と海上輸送の大気環境負荷物質の排出係数   | 海上技術安全研究所報告 第5巻 第3号                      | 2005.01 |
| CO <sub>2</sub> 排出量の推計・算出 | 3   | 赤倉康寛・鈴木武<br>松尾智征   | 我が国貨物の国際・国内海上輸送によるCO <sub>2</sub> 排出量の推計   | 国土技術政策総合研究所資料 NO.497                     | 2009.01 |
|                           | 4   | 海洋政策研究財団   | 船舶からの温室効果ガス及び大気汚染物質の世界的な排出量算定調査 報告書  | —  | 2010.07 |
|                           | 5   | Joint Transport Research<br>Centre of the OECD and<br>the International<br>Transport Forum | Greenhouse Gas Emissions Reduction Potential<br>from International Shipping  | Discussion Paper<br>No.2009-11           | 2009.05 |
|                           | 6   | Magnus S. EIDE<br>Øyvind ENDRESEN<br>Rolf SKJONG<br>Tore LONGVA<br>Sverre ALVIK            | Cost-effectiveness Assessment<br>of CO <sub>2</sub> Reducing Measures in Shipping  | Maritime Policy & Management<br>Vol.36   | 2009.08 |
|                           | 7   | Dong-Ping SONG<br>Jingjing XU  | An Operational Activity-based Method<br>to Estimate CO <sub>2</sub> Emissions from Container Shipping<br>Considering Empty Container Repositioning | Transportation Research Part D<br>Vol.17 | 2012.01 |
| 船型<br>運航パターンと<br>削減効果     | 8   | 黒川久幸・高野智貴<br>鈴木理沙・鶴田三郎   | 国際海上コンテナ輸送におけるCO <sub>2</sub> 排出量削減策の<br>実行可能性に関する研究   | 日本航海学会論文集 124号                           | 2011.03 |
|                           | 9   | Hakon LINDSTAD<br>Bjorn E. ASBJØRNSLETTA<br>Anders H. STRØMMANA                            | Reductions in Green Gas Emissions<br>and Cost by Shipping as Lower Speed   | Energy Policy No.39                      | 2011.04 |
|                           | 10  | Hakon LINDSTAD<br>Bjorn E. ASBJØRNSLETTA<br>Anders H. STRØMMANA                            | The Importance of Economies of Scale for Reductions<br>in Greenhouse Gas Emissions from Shipping   | Energy Policy No.46                      | 2012.07 |
|                           | 11  | 鈴木理沙   | 定期船・不定期船を対象とした外航海運における<br>CO <sub>2</sub> 排出量の削減策の検討に関する研究   | 東京海洋大学 博士論文集                             | 2014.03 |
|                           | 12  | 威曉黎・黒川久幸   | 長江口深水航路を用いた鉄鉱石輸入における<br>二酸化炭素排出量の削減策に関する研究   | 日本航海学会論文集 131号                           | 2014.12 |

No. 1 では、生産地・消費地・海上及び陸上輸送などサプライチェーン全体で発生するCO<sub>2</sub>排出量を算出し、現状を把握している。排出量の割合は、陸上輸送は全体の30.0%、海上輸送は20.0%であり、輸入港の集約に関する検討結果から、両者は非常に密接な関係にある事が明らかになった。

No. 2 から No. 4 は、CO<sub>2</sub>排出量の推計を行っている。

No. 2 は、LCI(ライフサイクルインベントリ)分析を行うため、建造・運航・解体の段階でのCO<sub>2</sub>排出量を算出している。その結果、運航段階におけるCO<sub>2</sub>排出量が全体の98.0%を占めている事が明らかになった。船種毎の運航記録に基づいた分析を行い、単位輸送量あたりのCO<sub>2</sub>排出量、SO<sub>x</sub>排出量、NO<sub>x</sub>排出量の推計を行っている。

No. 3 では、外航及び内航海運における、船種毎のCO<sub>2</sub>排出量を推計している。2005年時点での、CO<sub>2</sub>排

出量は、外航海運で約 9,200 万 t-CO<sub>2</sub>/年、内航海運で約 1,100 万 t-CO<sub>2</sub>/年と推計されている。また、減速航海や消費率上昇、大型化などの検討も行っている。

No. 4 は、国際海運からの GHG (Greenhouse Gas : 温室効果ガス) 排出総量を効率的に算出するため、排出量の算定に用いられた運航パラメータや活動総量と排出量の関係を整理・検討している。更に、UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change : 気候変動枠組条約) に対応する報告の枠組みの検討や、過去 5 年間の排出総量の試算を行っている。

No. 5 は、OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development : 経済協力開発機構) が行った、国際評議会の報告書である。世界経済を支える国際輸送において、現存している GHG の排出量の算出や削減可能な量の推定を行っている。国際海運輸送においては、IMO で策定されている技術的手法、運航的手法に関して議論している。運航的手法に関しては、低速運航と燃料を変化させた場合の効果を挙げている。

No. 6 は、CO<sub>2</sub> 排出量削減のための技術的手法において、CO<sub>2</sub> 排出量を 1t-CO<sub>2</sub> 削減するのにかかる費用の算出をしている。このパラメータを CATCH (Cost of Averting a Tonne of CO<sub>2</sub>-eq Heating) として評価している。

No. 7 は、コンテナ船を対象とした、港湾における処理能力と空コンテナの配置方法を変化させた場合の比較分析を行っている。

No. 8 から No. 12 では、船型や航路 (荷揚港への寄港方法など) を変化させた場合の削減効果を比較検討している。

No. 8 は、コンテナ船を対象とした、外航海運における CO<sub>2</sub> 排出量削減策の実行可能性を分析している。就航する船舶によって船速や船型が異なるので、航路や地域毎に細分化して検討している。

No. 9 及び No. 10 では、世界的な貨物荷動き量が増加した事による CO<sub>2</sub> 排出量の増加に着目している。No. 9 では、船速を変化させた場合における削減効果の検証を行っている。また、No. 10 では、貨物荷動き量の影響を受ける船隊を対象とした、船型を大型化させた場合と現存する船隊における CO<sub>2</sub> 排出量を船隊毎に比較した分析を行っている。

No. 11 は、運航形態の異なる、定期船と不定期船に大分類し、船種毎にみた削減策の提案を行っている。鉄鉱石輸送に着目した、共同配船について検討を行った結果、物流コスト及び CO<sub>2</sub> 排出量、両者の削減効果が見られた。なお、海上輸送のみではなく、サプライチェーン全体で見た検討を行っている。

No. 12 は、中国の鉄鉱石輸送に着目した研究である。まず、現状を把握するため、中国における CO<sub>2</sub> 排出量を推計している。更に、船型及び航路 (荷揚港への寄港方法など) を変化させた比較分析を行っている。その結果、外航海運では船型 40 万 DWT 級の大型船、内航では船型 7.4 万 DWT 程度の船舶を利用すると削減効果が大きい事が明らかになった。

### 1.3.3 既存研究と研究課題

1.3.1 節と 1.3.2 節で述べた通り、物流コスト及び CO<sub>2</sub> 排出量に関する研究は、世界的に見ても多くされている。1.3.3 節では、既存研究において課題として挙げられている事や研究されていない事項を述べ、本研究の研究課題とする。

- (1) 政策における課題の整理と、各港湾の整備目標及び現状のまとめ
- (2) 目標船型、大型船の導入における優先順位を明らかにするための感度分析
- (3) 物流コスト及び CO<sub>2</sub> 排出量が最小となる運航パターンの検討
- (4) 物流コスト及び CO<sub>2</sub> 排出量を総合評価した運航パターンの検討
- (5) 政策に対する運航パターンの具体的な提言

政策における目標と、各港湾の目標は、多少異なっている可能性がある。しかし、政策の目標や取り組み、各港湾の整備目標などを纏めた研究はない。そこで、まず(1)では、現状の整理と課題の抽出を行う。

上記の(2)(3)に関しては、船型 2~3 種類の船舶で、荷揚港が 2 港だった場合など、いくつかの例を比較分析した検討はされている。しかし、複数のパラメータを変化させた分析や日本全体の鉄鉱石(バルク貨物)輸入を考慮した検討はなされていなかった。物流コスト及び CO<sub>2</sub> 排出量は、輸送の様々な条件が変化する事により、適切な船型や航路(荷揚港への寄港方法など)が異なると予測出来る。そこで、本研究では、パラメータが変化した場合に与える影響と傾向把握を行う。

(4)に関しては、物流コスト及び CO<sub>2</sub> 排出量を個々に算出した分析はされていたが、総合評価をした検討はされていなかった。どちらも重要な評価項目であるので、本研究では総合評価を行う。

政策において理想状態を掲げているものの、具体的な目標設定や計画などが十分にされていない。そこで、(1)から(4)の検討結果を踏まえて、(5)では具体的な運航パターンの提言を行う。

他にも、大型船を所有するリスクや港湾整備の費用対効果、政策に対する提言の実行可能性など、様々な検討項目があるが、本研究では、それらのうち上述した 5 点に関して検討する。



## 1.4 本論文の構成

本研究の構成を図 1.4-1 に示す。

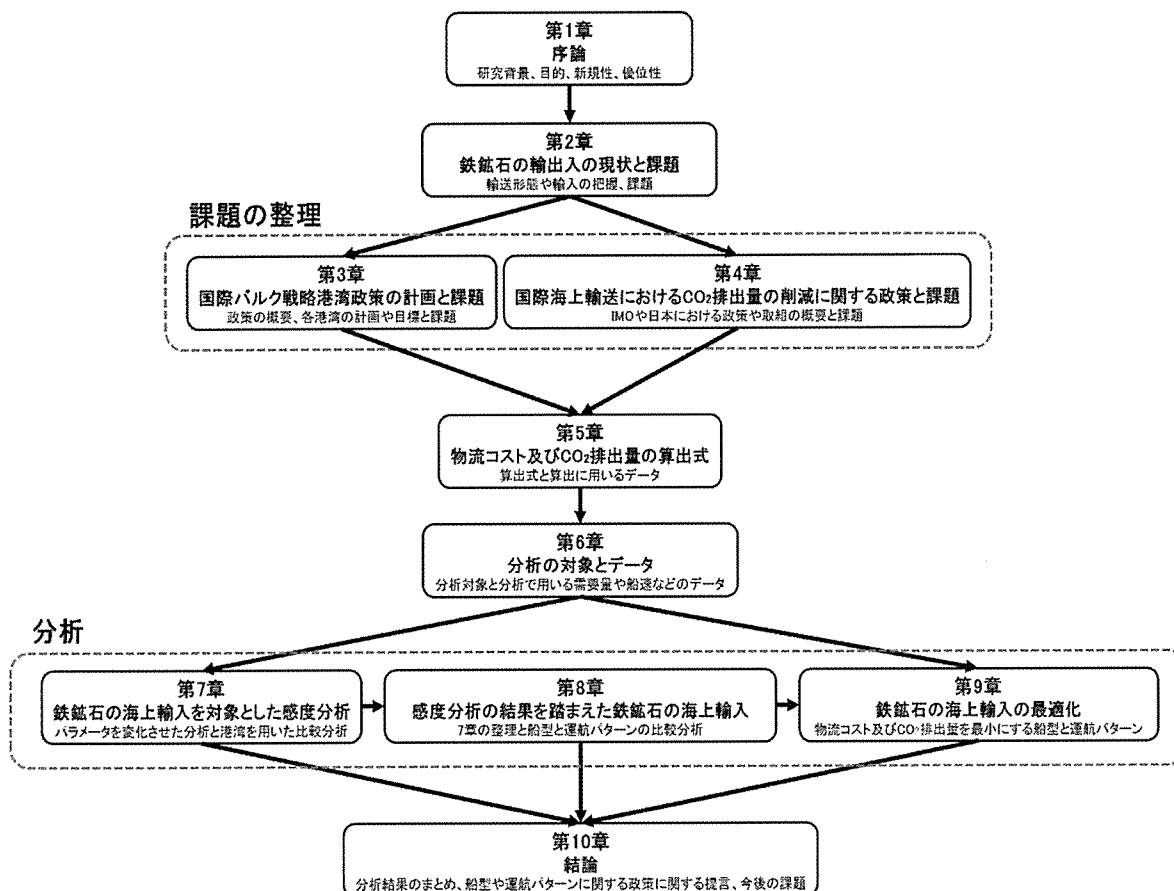


図 1.4-1 本論文の構成

第1章の序論では、本研究の背景や目的を述べる。既存研究を纏め、それらとの差分や新規性及び優位性を記述する。

第2章では、本研究の対象となる鉄鉱石の輸出入の現状を分析し、課題を抽出する。分析をする際、国土交通省の統計データやLloyd's List Intelligenceの船舶動静データを用いる。積出港と荷揚港間の需要量や、輸入に用いられる船舶の船型や寄港回数を分析する。

第3章及び第4章では物流コストに関する政策である「国際バルク戦略港湾政策」、CO<sub>2</sub>排出量に対するIMOや日本での政策の概要と課題を述べる。

第5章では、本研究における物流コスト及びCO<sub>2</sub>排出量の算出式、第6章では分析の対象とデータを纏める。

第7章から第9章では分析を行う。まず、第7章では鉄鉱石の海上輸入を対象とした感度分析を行う。様々なパラメータを変化させた場合に、物流コスト及びCO<sub>2</sub>排出量に与える影響や傾向把握を行う。第7章で得られた結果を第8章に纏め、感度分析で得られた船舶の船型と航路(荷揚港への寄港方

法など)のいくつかの組み合わせを比較分析する事により、削減効果の検証を行う。第9章では、第7章及び第8章で得られた結果を元に、海上輸入における最適化を行う。

第10章では、本研究の纏めを行う。更に、分析から得られた結果から、国際バルク戦略港湾政策や、IMOの掲げているCO<sub>2</sub>排出量を削減するための政策に関して提言を行う。

## 1.5 第1章に関する参考文献

- (1) 国土交通省：効率(物流)の利便性向上、円滑化及び効率化, 2012.10
- (2) 公益財団法人日本海事広報協会：日本の海運 SHIPPING NOW 2012-2013「データ編」, pp8
- (3) 日本政策投資銀行：調査研究レポート No.228「2 大バルクに異変；足元明暗が分かれる鉄鉱石と石炭の中期予測」, 2015.04.20
- (4) MAN Diesel & Turbo：Propulsion Trends in Bulk Carriers Two-stroke Engines, 2014.05
- (5) 日本郵船調査グループ：2014 Outlook for the Dry-Bulk and Crude-Oil Shipping Markets 海上荷動きと船腹需給の見通し, 2014.10
- (6) 日本経済新聞：エネルギー・穀物輸入、10 港に集中 コスト 4 割削減, 2014.10.12, <[http://www.nikkei.com/article/DGXLASF511H0R\\_R11C14A0MM8000/](http://www.nikkei.com/article/DGXLASF511H0R_R11C14A0MM8000/)>, 最終アクセス 2015.07.01
- (7) 日本経済新聞：40 万トン級の鉄鉱石運搬船、新日鐵大分に寄港, 2012.06.19, <<http://www.nikkei.com/article/DGXNZ042745040Y2A610C1LX0000/>>, 最終アクセス 2015.07.01
- (8) 新日鐵住金：暮らしを産業を支える海上物流と船の進化, 季刊, Vol.2
- (9) 公益財団法人日本海事センター：我が国海外航海運業界から見た我が国造船業の現状課題に関する調査報告書, 2012.05
- (10) 日本経済新聞：世界最大級の資源運搬船を公開 鉄鉱石大手のヴァーレ, 2013.01.23, <[http://www.nikkei.com/article/DGXNASDD230GA\\_T20C13A1TJ1000/](http://www.nikkei.com/article/DGXNASDD230GA_T20C13A1TJ1000/)>, 最終アクセス 2015.07.01
- (11) 国土交通省：海事レポート 第Ⅱ部 海事の現状とその課題, 2011, pp28
- (12) 社団法人日本埋立浚渫協会：PortRait Vol.276 立地企業・地元市民と連携強化 木更津港, <<http://www.umeshunkyo.or.jp/209.html>>, 最終アクセス 2015.07.01
- (13) 新日鐵住金株式会社：君津製鉄所での VALE MAX の受け入れについて, 2013.01.23, <[http://www.nssmc.com/news/20130123\\_100.html](http://www.nssmc.com/news/20130123_100.html)>, 最終アクセス 2015.07.01
- (14) 電気新聞：四国電力と中国電力、豪州炭を共同輸送へー福山港に 14 万トン, <[http://www.shimbun.denki.or.jp/news/main/20150407\\_01.html](http://www.shimbun.denki.or.jp/news/main/20150407_01.html)>, 2015.04.07, 最終アクセス 2015.07.01
- (15) 新日鐵住金株式会社：第1四半期決算情報 2014 年度 1Q 決算説明会資料, 2014.07.31, pp21
- (16) 国土交通省気象庁：温室効果ガスの種類, <[http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/chishiki\\_ondanka/p04.html](http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/chishiki_ondanka/p04.html)>, 最終アクセス 2015.07.01
- (17) International Maritime Organization, Our Work “Greenhouse Gas Emissions”, <<http://www.imo.org/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/GHG-Emissions.aspx>>, 最終アクセス 2015.07.01
- (18) 国土交通省：海事レポート 第1部 第9章 環境問題への取組, 2014

- (19) 一般財団法人日本海事協会：2009 年度研究開発の成果報告 3. 船舶からの地球温暖化ガス排出削減に対する NK の取組み, pp49-79
- (20) 国土交通省：国際海運における世界初の CO<sub>2</sub> 排出規制の導入について, 2011.07.19, <[http://www.mlit.go.jp/report/press/kaiji06\\_hh\\_000037.html](http://www.mlit.go.jp/report/press/kaiji06_hh_000037.html)>, 最終アクセス 2015.07.01
- (21) United Nations Framework Convention on Climate Change, International Chamber of Shipping Representing the Global Shipping Industry “Shipping, World Trade and the Reduction of CO<sub>2</sub> Emissions”, 2014
- (22) 県土整備部港湾課企画班：千葉県「木更津港港湾計画」, <<http://www.pref.chiba.lg.jp/kouwan/kisarazu-kaitei.html>>, 最終アクセス 2014.06.03



## 第2章 鉄鉱石の海上輸入における現状と課題

### 2.1 鉄鉱石輸出入の現状

#### 2.1.1 鉄鉱石における海上荷動き量の概要

品目別で世界の荷動き量を見ても、三大バルクの占める割合は多く、特に鉄鉱石の伸び率は非常に大きい。重量ベースで見ると、2003年に5.2億トン/年であったが、2013年には11.9億トン/年と、8.7%も増加している<sup>(1)</sup>。また、世界市場において、金額ベースで見ても原油(12兆USD/年)の次に鉄鉱石(1,491億USD/年)が続いている<sup>(2)</sup>。

2013年の世界の鉄鋼消費量は14.8億トン/年となっており、前年比では3.6%増加している。日本では2.0%増加しているが、中国(6.1%増加)や新興国(5.1%増加)の伸び率が大きい。

図2.1-1は、鉄鉱石の海上荷動き量を示している。国同士を結ぶ線は、貨物量が多い程、太くなっていく。また、数値は見積輸出量を示している。図から、オーストラリアやブラジルから輸送される貨物量が非常に多く、輸入国を見ると中国や日本といった北東アジアが多い事が分かる。2.1.2及び2.1.3では、輸出国及び輸入国の現状に関して詳細に述べる。

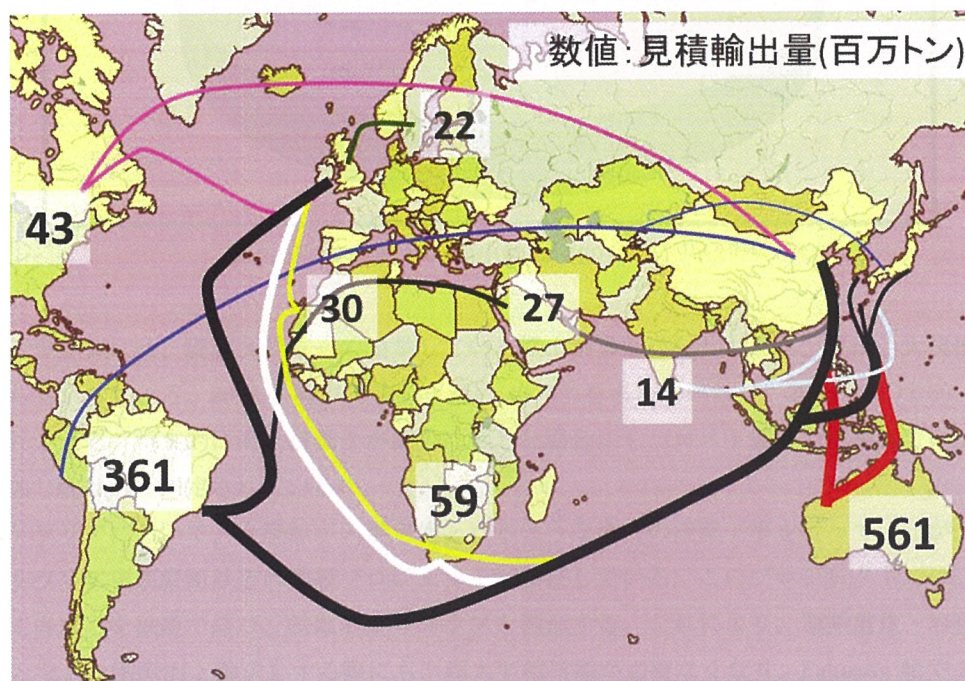


図 2.1-1 鉄鉱石の海上荷動き量<sup>(1)</sup>より作成

### 2.1.2 鉄鉱石輸出国の現状

鉄鉱石の輸出国はオーストラリア、ブラジル、南アフリカ、インドが挙げられる。図 2.1-2 は、鉄鉱石の輸出動向を示している。輸出量の大半をオーストラリアとブラジルの2国が占めている事が分かる。

オーストラリアには Rio Tinto Ltd. と BHP Billiton Ltd. が、ブラジルには Companhia Vale do Rio Doce S.A. といった、資源(鉄鉱石)メジャーが存在している。中心に大規模な鉱山の操業が行われており、Rio Tinto Ltd. は 2.6 千万トン/年、BHP Billiton Ltd. は 3.5 千万トン/年、Companhia Vale do Rio Doce S.A. は 9.0 千万トン/年、鉱山の操業をしている。また、生産コストは非常に低価格であり、生産量を拡大して、今後も輸出量を増加して利益を上げると予測されている<sup>(1)</sup>。

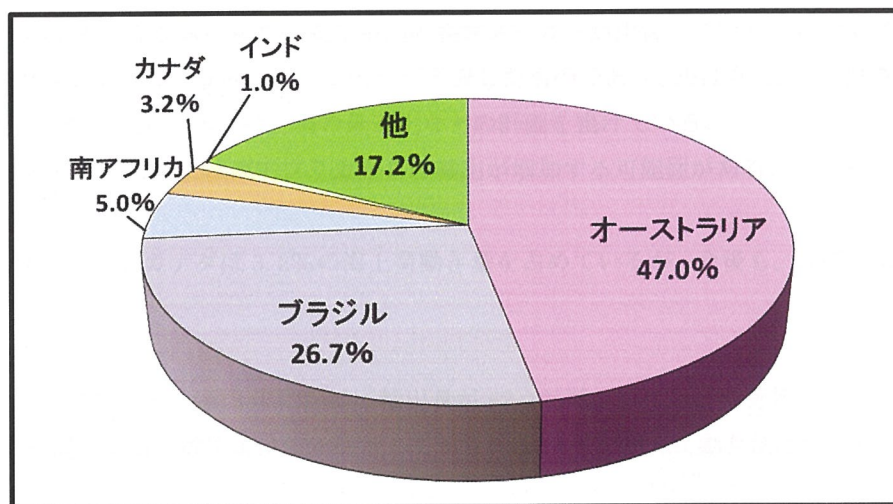


図 2.1-2 鉄鉱石の輸出動向 (2013 年) <sup>(1)</sup>より作成

オーストラリアには、資源メジャーの操業している鉱山が多数存在しており、更に、大規模鉱山が相次いで立ち上がっている。2013 年時点で荷動き量の 47.0%を占めているが、2014 年には 50.0%となると予想されている。将来的に海上荷動きが減少に転じた場合にも、コスト競争力に優れているため、輸出量は増加し続けると想定されている<sup>(1)</sup>。

オーストラリアにおいて、大型船が入港可能となるような港湾の浚渫工事を行っているが、その他にもオーストラリア東西縦断鉄道の敷設プロジェクトが存在している。このプロジェクトでは、産出地、精錬する工場などを鉄道で結び、鉄鉱石からスラブを製造する。これにより、運搬重量・容積が鉄鉱石の約 1/3 となる。国際海上輸送をする際にも、超大型輸送船が必要なくなり、Panamax 船や Suezmax 船などで十分な船型となる。それにより、超大型船では通航出来ない、パナマ運河やスエズ運河を通航可能となり、輸出国への航海距離が削減出来る。また、貨物積載率改善が可能な事による待ち時間の削減が可能となる事が利点として挙げられている<sup>(3)(4)</sup>。

ブラジルの鉄鉱石の鉄品質は非常に良い事で知られており、稀に鉄品位が 55.0%を越えるものも産出されている。生産量は年々増加傾向にあり、平均上昇率は 11.0%である。

Companhia Vale do Rio Doce S.A. による大型船の建造やそれに伴う港湾の浚渫工事なども行ってい



るが、出荷能力不足がボトルネックとなり、輸出量は伸び悩む可能性がある。

近年では、西アフリカにおいて大規模なプロジェクトが存在している<sup>(5)</sup>。

ギニアはボーキサイト(埋蔵量が世界最大級)や鉄品位の高い鉄鉱石(66.0%程度)が埋蔵されている事で知られている。2014年にRio Tinto Ltd.、中国鋁業股份有限公司、国際金融公社(IFC: International Finance Corporation)、ギニア政府が鉄鉱石採掘及びインフラの開発契約を締結した。南東部の産出地(Simandou)から鉄道で輸送し、船舶で国際輸送を行う必要があるため、鉄道と港湾の整備が必要となる。

また、ギニアの隣国であるリベリアでも操業プロジェクトが存在しており、中国の製鉄メーカーが出資している。また、ギニアのプロジェクトが非常に巨大なものであるため、インフラを共同利用する予定である。

シエラレオネにもイギリスの資源企業や中国の製鉄メーカーが出資しているプロジェクトも存在している。このプロジェクトはLondon Mining Plc.が発表したものであり、2011年12月には鉄鉱石の出荷、2012年には生産増加、2013年には工場の最適化などの計画を掲げている。

数十年要するが、将来的には西アフリカからの輸出が増加する可能性があると言える。

南アフリカは5.0%、カナダは3.2%の海上荷動き量を占めているが、今後も、ほぼ横ばいであると予測されている。

インドでは、2012年から2013年にかけて輸出量が62.1%減少した。この背景には、鉄鉱石の採掘及び輸出に禁止措置がある。輸出量は年々低下しており、2013年の海上荷動き量は約1.0%となった。

今後もオーストラリアとブラジルで鉱山の操業が進んでいく事が見通されている。また、両国の鉄鉱石生産コストが低いため、鉄鉱石の価格も低く、輸出量が今後も増加し、他国のコスト競争力不足により、海上荷動き量に占める割合は減少していくと予想されている。

### 2.1.3 鉄鉱石輸入国の現状

図 2.1-3 は、鉄鉱石の輸入動向を示したものである。世界最大の輸入国は中国であり、海上荷動きに占める割合は約 70.0%である。日本の 11.4%が次点となっている。2014 年時点での前年比は、中国は 9.8%増加、日本は 3.8%増加、韓国は 4.5%の減少、EU15 カ国は 5.0%増加となっている。

中国は、経済に伴い、年々輸入量が増加している傾向にある。2008 年から 2013 年の海上荷動きの伸び率は 12.4%増加していた。国産鉄鉱石の生産が減少し、輸入量は今後も増加すると予想されている。また、中国の鉄鉱石輸入におけるスポット価格は、多少変動があるものの、減少傾向にある。

日本は中国の次に鉄鉱石を輸入しているが、輸入量は今後もほぼ横ばいであると予測されている。日本の高炉向けの鉄鉱石輸入におけるスポット価格も減少傾向にあり。2014 年第三四半期には 99USD/t という最安値となった。

参考文献(1)(4)によれば、ブラジルの国別輸出額の割合は、中国 31.0%、日本 11.0%、ドイツ 8.5%、イタリア 4.9%、フランスと韓国 4.0%となっており、北東アジアと西欧に多く輸出されている。

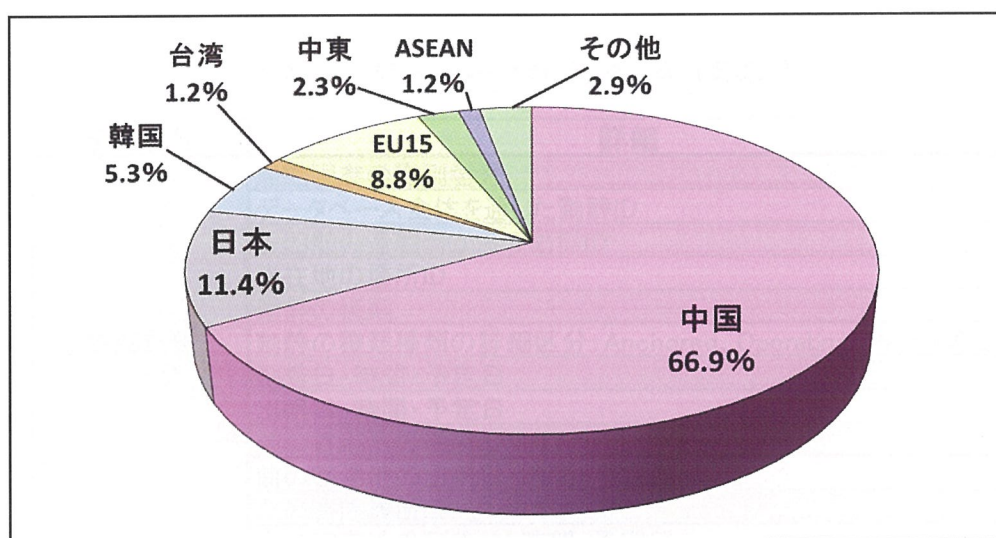


図 2.1-3 鉄鉱石の輸入動向 (2013 年) (1)より作成

2.1.2 節及び 2.1.3 節から、鉄鉱石の世界的な海上荷動きは、オーストラリア、ブラジルが輸出量の大半を占めており、今後は西アフリカ諸国が輸出量の伸びを見せる可能性がある。また、その多くは北東アジアに輸入される。中国は今後も輸入量は増加し、日本は横ばいとなると見通されている。



## 2.2 船舶動静データを用いた輸送形態の現状分析

### 2.2.1 船舶動静データ

現状を分析するにあたり、本研究では、Informa Group Plc Ltd. の Lloyd' s List Intelligence の Bulk and Tanker Vessel Movement Database<sup>(6)</sup> (以下、船舶動静データと記す) という有料のデータベースを用いた (2010 年版)。船舶動静データ、運航船舶諸元、運航船舶の所有者情報、場所情報を抽出してデータを購入した。情報の概要を表 2.2-1 に示す。

船舶動静データには、動静の種類、港湾への到着時間、到着予定日、前の寄港地、出帆時間などが含まれる。運航船舶諸元には、船舶の名前、IMO 番号、船籍地、運航社、最大船速、最大貨物積載量、全長、肩幅、満載喫水などが含まれる。動静データや船舶、地域などに ID があり、分析する際には、それぞれのデータと ID を抽出し関連付け (リレーション) を行う。

当該データベースから、鉄鉱石の積出港、及び、荷揚港を中心に各港湾への寄港頻度や私用される船舶の船型を分析した。なお、対象とする船舶は鉄鉱石専用船及び一般バルク船とする。

また、分析する際に、現状の貨物荷動き量を把握するため、国土交通省の統計年報<sup>(7)</sup> (以下、統計年報と記す) を用いた (2010 年版)。

表 2.2-1 データベースのデータ内容 (概要)<sup>(6)</sup>

| データ名     | 詳細  |
|----------|---|
| 船舶動静データ  | 船舶固有の識別番号                                     |
|          | データベース全体を通じた動静ID                              |
|          | 各船舶の造船時からの動静ID                                |
|          | 所在地の場所ID                                      |
|          | 動静の種類   |
|          | 動静の種類種類の詳細区分: Anchored、Operating、Passedなど     |
|          | 到着日・時間・予定日                                    |
|          | 出帆日・時間・予定日                                    |
|          | 前の寄港地の場所ID                                    |
|          | 前の寄港地の出帆日・時間・予定日                              |
|          | 次の寄港場所ID                                      |
|          | 次の寄港地の到着日・時間・予定日                              |
| 船舶諸元データ  | 各船舶固有の識別番号・IMO番号・名称                           |
|          | 建造年   |
|          | 総トン数・純トン数・載貨重量トン数                             |
|          | 船種: bulk carrier fish carier                  |
|          | 船種の詳細な区分: bulk ore carrier、LPG、fish factoryなど |
|          | 全長・船幅・満載喫水                                    |
|          | 航海速力  |
| 場所情報のデータ | 建造計画時航海速力                                     |
|          | 場所ID  |
|          | 場所の名称   |
|          | 所属する国・地域・地域の種類                                |
|          | 場所の種類区分: Anchorage、Canal、Terminalなど           |
|          | 緯度・緯度   |

## 2.2.2 積出港・荷揚げ港別の鉄鉱石輸出入量

日本の対象港湾を鉄鉱石の国際バルク戦略港湾、及び、その連携港である、室蘭港、鹿島港、千葉港、川崎港、木更津港、名古屋港、下津港、東播磨港、水島港、福山港、呉港、大分港、北九州港の計 13 港湾とした。

まず、当該港湾を対象として、船舶動静データと統計年報から、鉄鉱石の輸入量を推計した結果を表 2.2-2 に示す。

表 2.2-2 積出国から各荷揚げ港への輸入量（トン/年）

| 積出国          | 荷揚げ港     | 北海道       | 福島県           | 千葉県       | 神奈川県      | 千葉県        | 愛知県           | 和歌山県      | TOTAL       |
|--------------|----------|-----------|---------------|-----------|-----------|------------|---------------|-----------|-------------|
|              |          | 室蘭        | 鹿島            | 千葉        | 川崎        | 木更津        | 名古屋           | 下津        |             |
|              |          | 鉄鉱石連携港湾   | 穀物<br>鉄鉱石連携港湾 | 鉄鉱石連携港湾   | 鉄鉱石連携港湾   | 鉄鉱石        | 穀物<br>鉄鉱石連携港湾 | 鉄鉱石連携港湾   |             |
|              | 鉄鉱石      | 3,516,047 | 12,650,830    | 5,616,080 | 6,512,567 | 15,674,066 | 11,613,940    | 6,822,625 | 131,664,867 |
| Australia    | オーストラリア  | 2,866,805 | 8,290,042     | 2,770,782 | 3,789,722 | 6,674,865  | 6,661,430     | 4,284,468 | 77,478,284  |
| Brazil       | ブラジル     | 229,180   | 2,721,637     | 561,442   | 1,901,804 | 6,502,130  | 3,601,548     | 1,551,495 | 34,616,240  |
| Canada       | カナダ      | —         | —             | —         | —         | 244,585    | 501,266       | 29,752    | 887,003     |
| Chile        | チリ       | —         | —             | 30,036    | 80,229    | —          | —             | —         | 805,401     |
| China        | 中国       | —         | 113,046       | 15,699    | —         | —          | 4,293         | —         | 135,786     |
| Congo        | コンゴ      | —         | —             | —         | —         | 74,088     | —             | —         | 74,088      |
| Korea        | 韓国       | —         | 80,584        | —         | —         | —          | 2,540         | —         | 83,124      |
| India        | インド      | 219,950   | 275,421       | 92,218    | 368,454   | 73,593     | 663,567       | 479,284   | 6,084,434   |
| Mauritania   | モーリタニア   | —         | —             | —         | —         | —          | 79,373        | —         | 79,373      |
| New Zealand  | ニュージーランド | —         | —             | —         | —         | —          | —             | —         | 112,370     |
| Peru         | ペルー      | —         | —             | —         | —         | —          | —             | —         | 1,129,885   |
| Philippines  | フィリピン    | —         | 197,578       | 2,135,883 | 129,938   | —          | 220           | —         | 3,947,865   |
| Russia       | ロシア      | —         | —             | —         | —         | 39,978     | —             | —         | 39,978      |
| South Africa | 南アフリカ    | 200,112   | 738,744       | 10,020    | 212,302   | 1,981,175  | 99,682        | 276,181   | 5,066,208   |
| Singapore    | シンガポール   | —         | 5,730         | —         | —         | —          | —             | 201,445   | 207,175     |
| Taiwan       | 台湾       | —         | 32,822        | —         | —         | —          | —             | —         | 32,822      |
| Thailand     | タイ       | —         | 195,226       | —         | —         | 9,550      | —             | —         | 204,776     |
| UK           | イギリス     | —         | —             | —         | 9,620     | —          | —             | —         | 9,620       |
| Ukraine      | ウクライナ    | —         | —             | —         | 20,498    | 74,102     | —             | —         | 94,600      |
| Venezuela    | ベネズエラ    | —         | —             | —         | —         | —          | —             | —         | 344,900     |

| 積出国          | 荷揚げ港     | 兵庫県        | 岡山県        | 広島県        | 広島県       | 大分県        | 福岡県       | TOTAL       |
|--------------|----------|------------|------------|------------|-----------|------------|-----------|-------------|
|              |          | 東播磨        | 水島         | 福山         | 呉         | 大分         | 北九州       |             |
|              |          | 鉄鉱石連携港湾    | 鉄鉱石        | 鉄鉱石        | 鉄鉱石連携港湾   | 鉄鉱石連携港湾    | 鉄鉱石連携港湾   |             |
|              | 鉄鉱石      | 12,571,668 | 13,711,205 | 15,874,436 | 5,426,626 | 13,907,788 | 7,766,989 | 131,664,867 |
| Australia    | オーストラリア  | 6,483,728  | 9,772,679  | 9,873,635  | 3,713,123 | 6,551,129  | 5,745,876 | 77,478,284  |
| Brazil       | ブラジル     | 3,624,946  | 2,133,573  | 2,493,031  | 1,216,875 | 6,289,532  | 1,789,047 | 34,616,240  |
| Canada       | カナダ      | —          | —          | 38,567     | —         | 72,833     | —         | 887,003     |
| Chile        | チリ       | —          | —          | 546,415    | 148,721   | —          | —         | 805,401     |
| China        | 中国       | 56         | 1,406      | —          | —         | 18         | 1,268     | 135,786     |
| Congo        | コンゴ      | —          | —          | —          | —         | —          | —         | 74,088      |
| Korea        | 韓国       | —          | —          | —          | —         | —          | —         | 83,124      |
| India        | インド      | 903,144    | 815,236    | 1,652,821  | 160,767   | 149,181    | 230,798   | 6,084,434   |
| Mauritania   | モーリタニア   | —          | —          | —          | —         | —          | —         | 79,373      |
| New Zealand  | ニュージーランド | 112,370    | —          | —          | —         | —          | —         | 112,370     |
| Peru         | ペルー      | 1,129,885  | —          | —          | —         | —          | —         | 1,129,885   |
| Philippines  | フィリピン    | —          | 559,179    | 925,067    | —         | —          | —         | 3,947,865   |
| Russia       | ロシア      | —          | —          | —          | —         | —          | —         | 39,978      |
| South Africa | 南アフリカ    | 317,539    | 429,132    | —          | 22,204    | 779,117    | —         | 5,066,208   |
| Singapore    | シンガポール   | —          | —          | —          | —         | —          | —         | 207,175     |
| Taiwan       | 台湾       | —          | —          | —          | —         | —          | —         | 32,822      |
| Thailand     | タイ       | —          | —          | —          | —         | —          | —         | 204,776     |
| UK           | イギリス     | —          | —          | —          | —         | —          | —         | 9,620       |
| Ukraine      | ウクライナ    | —          | —          | —          | —         | —          | —         | 94,600      |
| Venezuela    | ベネズエラ    | —          | —          | 344,900    | —         | —          | —         | 344,900     |

対象港湾への総計(TOTAL)を、積出国毎に見ると、オーストラリアからの輸出量が最も多く、ブラジル、インド、南アフリカ、フィリピン、ペルー、カナダと続く。オーストラリアやブラジル、南アフリカは鉄鉱石を大量に産出している。中国や韓国、フィリピンからの輸出は、中継基地であるためだと考察する。

荷揚港毎に見ると、福山港、木更津港、大分港、水島港、鹿島港の順に輸入量が多く、年間で12～15百万トン程度輸入している。13港湾の平均輸入量は10百万トン程度であった。

輸入量の上位5港に着目すると、木更津港や大分港はオーストラリアやブラジルからの輸入量は同程度であるが、福山港、水島港、鹿島港はオーストラリアの輸入量が大半を占めている。福山港の場合、オーストラリアからの輸入量は、ブラジルからの輸入量の約4倍にあたる。

表2.2-3は、船舶動静データと統計年報を用い、積出港から荷揚港への輸入量を纏めたものである。表2.2-3より、輸入量が多かった、オーストラリア、ブラジル、インド、南アフリカの鉄鉱石を大量に輸出している港湾を対象とした。

表2.2-3 積出港から荷揚港への輸入量（トン/年）

| 積出港          | 荷揚港              | 室蘭        | 鹿島         | 千葉        | 川崎        | 木更津        | 名古屋        | 下津        | TOTAL       |
|--------------|------------------|-----------|------------|-----------|-----------|------------|------------|-----------|-------------|
| Australia    | Abbot Point      | —         | 66,188     | 179,981   | 186,172   | —          | 31,331     | —         | 1,511,106   |
|              | Dampier          | 177,103   | 1,277,392  | 674,588   | 347,655   | 730,861    | 412,110    | 760,038   | 16,801,268  |
|              | Esperance        | —         | 11,909     | 11,674    | 109,935   | —          | 37,710     | 125,373   | 557,705     |
|              | Hay Point        | 754,859   | 1,122,963  | 266,427   | 955,065   | 1,337,447  | 1,672,551  | 724,160   | 10,595,679  |
|              | Newcastle        | 990,643   | 1,980,236  | 537,002   | 411,301   | 990,246    | 1,191,571  | 980,846   | 12,435,974  |
|              | Port Hedland     | 67,273    | 1,374,208  | 776,959   | 1,473,593 | 733,078    | 230,197    | 277,535   | 14,726,028  |
|              | Port Walcott     | 876,927   | 2,457,146  | 324,150   | 306,002   | 2,883,233  | 3,085,960  | 1,416,516 | 20,850,526  |
| Brazil       | Ponta da Madeira | 84,329    | 1,434,960  | —         | 839,339   | 1,789,041  | 882,822    | 941,549   | 11,730,249  |
|              | Sepetiba         | 144,851   | 648,910    | 214,097   | 315,865   | 2,521,018  | 970,462    | 183,953   | 11,032,654  |
|              | Tubarao          | —         | 637,766    | 347,345   | 746,599   | 2,192,071  | 1,748,264  | 425,994   | 11,853,335  |
| India        | Mormugao         | 219,950   | 275,421    | 92,218    | 368,454   | 73,593     | 663,567    | 479,284   | 6,084,434   |
| South Africa | Saldanha Bay     | 200,112   | 738,744    | 10,020    | 212,302   | 1,981,175  | 99,682     | 276,181   | 5,066,208   |
| TOTAL        |                  | 3,516,047 | 12,025,843 | 3,434,461 | 6,272,282 | 15,231,763 | 11,026,227 | 6,591,429 | 123,245,166 |

| 積出港          | 荷揚港              | 東播磨        | 水島         | 福山         | 呉         | 大分         | 北九州       | TOTAL       |
|--------------|------------------|------------|------------|------------|-----------|------------|-----------|-------------|
| Australia    | Abbot Point      | —          | 515,479    | 296,176    | —         | 70,027     | 165,752   | 1,511,106   |
|              | Dampier          | 6,483,728  | 1,535,634  | 1,723,950  | 1,038,070 | 997,773    | 642,366   | 16,801,268  |
|              | Esperance        | —          | 30,988     | 122,837    | —         | —          | 107,279   | 557,705     |
|              | Hay Point        | —          | 536,368    | 610,850    | —         | 1,420,271  | 1,194,718 | 10,595,679  |
|              | Newcastle        | —          | 355,942    | 1,175,838  | 776,267   | 1,413,962  | 1,632,120 | 12,435,974  |
|              | Port Hedland     | —          | 3,988,756  | 3,552,109  | 928,607   | 355,827    | 967,886   | 14,726,028  |
|              | Port Walcott     | —          | 2,809,514  | 2,391,874  | 970,180   | 2,293,269  | 1,035,755 | 20,850,526  |
| Brazil       | Ponta da Madeira | 1,208,315  | 996,383    | 878,926    | 644,554   | 2,030,031  | —         | 11,730,249  |
|              | Sepetiba         | 1,208,315  | 744,312    | 652,188    | 572,321   | 2,327,723  | 528,639   | 11,032,654  |
|              | Tubarao          | 1,208,315  | 392,878    | 961,917    | —         | 1,931,778  | 1,260,408 | 11,853,335  |
| India        | Mormugao         | 903,144    | 815,236    | 1,652,821  | 160,767   | 149,181    | 230,798   | 6,084,434   |
| South Africa | Saldanha Bay     | 317,539    | 429,132    | —          | 22,204    | 779,117    | —         | 5,066,208   |
| TOTAL        |                  | 11,329,356 | 13,150,622 | 14,019,486 | 5,112,970 | 13,768,959 | 7,765,721 | 123,245,166 |

積出港から荷揚港への輸出量の総計を見ると、オーストラリアのDampier港、Port Walcott港、Port Hedland港の順で多く、ブラジルは同程度(11百万トン程度)であった。積出港別、荷揚港別に輸出入量を見ると、Dampier港からは福山港、水島港、鹿島港の順で多かった。Port Walcott港からは名古屋港、木更津港、水島港であり、Port Hedland港からは水島港、福山港、川崎港であった。以上のことから、積出港からの荷揚港毎の需要量にはバラつきがある事が分かった。

### 2.2.3 鉄鉱石輸入における荷揚港別の寄港頻度と船型

次に、船舶動静データを用いて、鉄鉱石専用船及び一般バルク船寄港頻度と船型に着目した分析を行う。表 2.2-4 は、積出国であるオーストラリア、ブラジル、南アフリカ、カナダ、インド、中国から日本の積出港である室蘭港、鹿島港、千葉港、川崎港、木更津港、名古屋港、下津港、東播磨港、水島港、福山港、呉港、大分港、北九州港に寄港する鉄鉱石専用船及び一般バルク船の年間寄港頻度を示している。更に表 2.2-5 では、先述した港湾の平均船型を示している。

表 2.2-4 積出国別の各荷揚港へ船舶の寄港頻度（回/年）

| 荷揚港 | 積出国 | オーストラリア | ブラジル | 南アフリカ | カナダ | インド | 中国  | 合計<br>(他港湾を含む) |
|-----|-----|---------|------|-------|-----|-----|-----|----------------|
| 室蘭  |     | 18      | —    | —     | 4   | 1   | 6   | 42             |
| 鹿島  |     | 127     | 15   | 5     | 22  | —   | 78  | 372            |
| 千葉  |     | 89      | 2    | —     | 33  | —   | 13  | 292            |
| 川崎  |     | 72      | 7    | 5     | 7   | 4   | 7   | 192            |
| 木更津 |     | 97      | 18   | 8     | 17  | 1   | 50  | 277            |
| 名古屋 |     | 29      | —    | —     | 10  | 3   | 33  | 186            |
| 下津  |     | 19      | —    | —     | 4   | 1   | 8   | 126            |
| 東播磨 |     | —       | —    | —     | —   | —   | —   | 5              |
| 水島  |     | 73      | 1    | —     | 9   | 4   | 26  | 243            |
| 福山  |     | 133     | 1    | —     | 7   | —   | 49  | 287            |
| 呉   |     | 14      | 1    | —     | —   | —   | 7   | 64             |
| 大分  |     | 112     | 24   | 5     | 6   | 1   | 30  | 284            |
| 北九州 |     | 46      | —    | —     | 2   | —   | 35  | 177            |
| 合計  |     | 829     | 69   | 23    | 121 | 15  | 342 | 2,547          |

表 2.2-5 積出国別の各荷揚港への船舶の平均船型（DWT/年）

| 荷揚港 | 積出国 | オーストラリア | ブラジル    | 南アフリカ   | カナダ     | インド     | 中国     | 平均<br>(他港湾を含む) |
|-----|-----|---------|---------|---------|---------|---------|--------|----------------|
| 室蘭  |     | 121,700 | —       | —       | 176,806 | 71,393  | 20,748 | 60,098         |
| 鹿島  |     | 138,470 | 154,111 | 171,192 | 89,814  | —       | 28,070 | 121,429        |
| 千葉  |     | 96,988  | 170,210 | —       | 45,135  | —       | 10,944 | 84,091         |
| 川崎  |     | 118,237 | 173,611 | 189,778 | 66,731  | 96,464  | 12,677 | 78,646         |
| 木更津 |     | 133,612 | 189,188 | 114,796 | 163,401 | 38,888  | 31,591 | 131,108        |
| 名古屋 |     | 66,264  | —       | —       | 31,065  | 44,909  | 21,342 | 39,878         |
| 下津  |     | 78,716  | —       | —       | 58,425  | 75,395  | 31,578 | 41,501         |
| 東播磨 |     | —       | —       | —       | —       | —       | —      | 51,147         |
| 水島  |     | 153,594 | 28,653  | —       | 33,986  | 101,776 | 25,757 | 50,919         |
| 福山  |     | 148,187 | 180,082 | —       | 95,384  | —       | 35,944 | 62,071         |
| 呉   |     | 131,427 | 171,908 | —       | —       | —       | 49,891 | 83,597         |
| 大分  |     | 191,201 | 260,031 | 170,989 | 180,216 | 38,455  | 28,638 | 118,127        |
| 北九州 |     | 69,740  | —       | —       | 74,514  | —       | 27,732 | 39,414         |
| 平均  |     | 120,678 | 165,974 | 161,689 | 92,316  | 66,754  | 27,076 | 74,002         |

まず、表 2.2-4 の積出国に着目すると、輸入量の多いオーストラリアが最も寄港頻度が多く、中国、カナダと続く。ブラジルは輸入量が多い割に、寄港頻度は低い。

オーストラリアからの寄港頻度は福山港、鹿島港、大分港の順で多く、ブラジルからは大分港、木更津港、鹿島港の順で多い。他の積出港からの寄港も同じ傾向にあるが、カナダからの輸入は鹿島港と千葉港が多い。荷揚港のみを見ると、鹿島港、福山港、大分港、千葉港、木更津港、水島港の順で多い。



表 2.2-5 の積出国に着目すると、平均船型はブラジル、南アフリカからの寄港する船舶の船型が大きく、船型 16 万 DWT 超となった。オーストラリアからの輸出量は圧倒的に多いが、船型はあまり大きくない。表 2.2-4 と表 2.2-5 から、中国からの寄港頻度は多かったが、船型は小さく、少量多頻度で輸送されている事が分かった。また、カナダに関しても同様の事が言える。

荷揚港毎に見ると、木更津港に入港する船舶の船型が最も大きく、鹿島港、大分港が続く。水島港、及び、福山港は、輸入量が多い割に船型は小さい。ブラジルから寄港する船舶の船型は大型であるが、ブラジルから水島港に入港する船舶の船型は小さい。

上記の表では、鉄鉱石専用船と一般バルク船の平均値である。表で示している日本の荷揚港において、外国から寄港する平均船型を船種別に算出した。その結果、鉄鉱石専用船の平均船型は、船型 19.6 万 DWT 程度であったが、一般バルク船の平均船型は 5.5 万 DWT 程度であった。木更津港、鹿島港、大分港は船型 40 万 DWT 級の Valemax 船の入港実績がある港湾であるが、海外から寄港する一般バルク船の平均船型は 5 万 DWT 以下となった。

## 2.3 海運会社から見た鉄鉱石輸入の現状

### 2.3.1 船舶の船型及び航路と運航契約

2.1 節及び 2.2 節では、現状のデータを定量的に分析した結果を記した。2.3 節では、実際に鉄鉱石専用船や一般バルク船を運航している海運会社、及び、実際に動かしている航海士の現状を記す。

日本郵船株式会社は 2006 年に、中国大手の鉄鋼会社の宝山鋼鉄股份有限公司や、馬鞍山鋼鉄股分有限公司を結んでいる。当該契約では、前者はオーストラリアー中国、後者はオーストラリア・ブラジルー中国の輸送を担っている。更に、2010 年に BHP Billiton Ltd. と長期契約(12 年)を締結し、オーストラリアー中国の鉄鉱石輸送を船型 25 万 DWT 級の Capesize 船で行っている。それ以降、ブラジルー中国向けの船型 30 万 DWT 級の鉄鉱石専用船を建造している。上述した通り、外地と中国間の輸送を担っている<sup>(8) (9) (10)</sup>。

株式会社商船三井の大型鉄鉱石専用船、Brazil Maru(船型 32 万 DWT、船長 320.0m、喫水 32.1m)を保有している。中国の粗鋼生産量の伸びによる鉄鉱石需要量の増加を見据え、6 年の歳月をかけて建造された船舶であり、Capesize 船の 2 倍程度の輸送が可能である。Brazil Maru には姉妹船が複数隻存在している。姉妹船を含め、製鉄メーカーと長期傭船契約を結んでおり、他の一般ドライバルク船においても、長期契約(5 年超)と中期契約(1 年超～5 年)が契約の 7 割を占めている(他：短期契約、スポット契約)<sup>(11)</sup>。

大水深岸壁を有す大分港(岸壁水深：約 24.0m)を日本の主要な荷揚港としている。ブラジルー日本を年間 4.2～4.3 往復している。

川崎汽船株式会社は、JFE スチール株式会社と契約を結んでいる傾向にある<sup>(12)</sup>。

2008 年には船型 30 万 DWT 級の鉄鉱石専用船を竣工している。当該船舶は、主に積出港をブラジルとしているが、オーストラリアの主要港湾にも入港可能という汎用性を持っている。また、主要な荷揚港を JFE スチール株式会社の子会社である Philippine Sinter Corporation の専用港湾としている。

2012 年には、両社間で、Capesize 船 1 隻による輸送長期契約(15 年)を締結している。当該船舶は、推進効率を向上させた省エネルギー構造のため、川崎汽船株式会社の運行している他の一般バルク船と比較して 20.0%近い燃費している。このため、燃料費、及び、地球環境保全を目指している。

### 2.3.2 航海士から見た鉄鉱石輸入の現状

航海士から見た現状を知るため、貨物船の運航に携わった航海士数名にヒアリング調査を行った。調査は20代から60代の航海士10名程度に行った。2.3.2節では、鉄鉱石を輸送する、鉄鉱石専用船及び一般バルク船の20代から30代の航海士のヒアリング調査結果を示す。質問事項は、乗船した船舶の船型(DWT)、航行した主な航路、寄港した荷揚げ港数、入港待ち時間、入港待ち原因、時間調整方法、会社からの船速指定の有無に関して伺った。

#### 1. 海運会社A(日本企業、日本人)

船型：20万DWT程度

航路：オーストラリアー日本(木更津港、大分港)

荷揚げ港数：2港揚げ(木更津港、大分港など)、3港揚げ、1港揚げ

入港待ち時間：3日～1週間(積出港)、

3週間(木更津港/鉄鉱石船用船)、3日程度(荷揚げ港/一般バルク船)

入港待ち原因：入港順番待ち、荷役機械故障・メンテナンス、高潮待ち

時間調整方法：アンカー、低速航行

船速指定：出航前に会社から「出来る限り遅く」などというオーダーなど

備考：内地では時々入港待ちがある程度だが、外地では多頻度である。

鉄鉱石専用船は待つ事が多く、時間も長い傾向がある。

着岸するとすぐに荷役開始する。

#### 2. 海運会社B(日本企業、外国人)

船型：20万DWT程度

航路：オーストラリアー日本(木更津港、大分港、戸畑港)

荷揚げ港数：2港揚げ(木更津港、大分港など)が多い

入港待ち時間：3日～1週間(積出港)、

4日(木更津港・ファーストポート)、2日程度(セカンドポート)

2港揚げを行う場合、日本域内に滞在するのは10～11日程度

入港待ち原因：入港順番待ち、荷役機械故障・メンテナンス、高潮待ち

時間調整方法：アンカー

船速指定：特になし

備考：複数港揚げを行う場合、基本的に木更津港がファーストポート、セカンドポートは大分港か戸畑港となる。

ファーストポートのアンカー時間が最も長くなる傾向にある。

ファーストポートを木更津港とした場合、4日アンカー、4日荷役になる事が多い。

セカンドポートは待たずに入港可能な場合か、1日、若しくは、2日アンカーする事がある。

3. 海運会社 C (シンガポール企業、日本人)

船型：18 万 DWT 程度

航路：オーストラリアー日本(木更津港、名古屋港、名古屋港など)、オーストラリアー中国、  
オーストラリアー欧州(オランダ、イギリス、ポーランドなど)  
カナダー日本、ブラジルー日本

荷揚げ港数：基本的に、2 港揚げ(大分港、名古屋港など)

入港待ち時間：1 週間程度(積出港平均)

入港待ち原因：岸壁の順番待ち、港湾設備や荷役機械の故障・メンテナンス

時間調整方法：アンカー、ドリフティング

船速指定：オペレーターからは特になし

代理店やポートラジオに岸壁空き情報を確認する程度。

船速：満載で 12knot、空船で 14knot 程度(最低回転数 76 回転 rpm)

備考：Dampier や Newcastle (オーストラリア)で待つ事が多く、待ち時間も長かった。

4. 海運会社 D (ドイツ企業、日本人)

船型：20 万 DWT 程度

航路：ブラジル(Guaiba)ー中国(上海、寧波、青島)

荷揚げ港数：基本的に 2 港揚げ、時々 3 港揚げ

入港待ち時間：1 週間程度(平均)

入港待ち原因：岸壁の順番待ち

時間調整方法：アンカー

船速指定：特になし

船速：14knot 程度

備考：特になし

輸送貨物問わず、オーストラリアの港湾に入港する際に待つ事が多いという回答が多かった。

貨物や港湾によっては、保管するタンクや場所が不足しており、貨物が荷揚げ可能な状態になるまで、入港待ちをする事がある。または、そういった「待ち」を防ぐため、海運会社(オペレーター)から船速の指示やドラフティングなどの指示を受ける事もあるという。

近年、輸送に用いられる船舶の大型化が進んでいるが、必要水深の制約により、潮汐を利用して出入港する場合には、高潮になるまで待つ必要がある。それにより、他船が入港待ちをする事になり、入港待ちをする船舶が増加してしまう可能性がある。

また、国際バルク戦略港湾政策に関して伺ったところ、知らないという回答が多かった。



## 2.4 荷主から見た鉄鉱石輸入の現状

2.3節では、鉄鉱石専用船及び一般バルク船を運航している海運会社に着目した。航海士へのヒアリング調査から、航路は荷主によって決まる事も多々あるという話があり、荷主からの観点も非常に重要である。2.4節では、貨物を輸入している荷主である、製鉄メーカーに着目する。荷主は海運会社と長期、または、中期契約を締結している事が多い傾向がある。

新日鐵住金株式会社では、日本郵船株式会社の Oita Maru や株式会社商船三井の Brazil Maru などの大型船と契約をしている。大分製鉄所が有する荷揚用の岸壁は水深が非常に深く、両船はこの大水深の港湾能力を活かすように建造されたものである。

配船に関しても考慮しており、図 2.4-1 の青線は従来の航路、赤線は大型船・Brazil Maru の航路を記している。図 2.4-2 は、コンビネーション輸送の詳細を示している。

鉄鉱石を往復(シャトル)輸送では、復航(荷揚港から積出港へ向けた航路)が空船となってしまう、積載率が下がる。このため、ブラジルー日本の鉄鉱石輸送と、オーストラリアー欧州の石炭輸送を組み合わせ、三国間輸送を行っていた。この場合、効率は良いが、石炭の積出港は水深が浅い港湾が多く、入港可能となる船舶の船型が制限される。これが従来の輸送パターン(青線)である。また、鉄鉱石と石炭輸送の組み合わせだけではなく、鉄鉱石メジャーである Rio Tinto Ltd. との共同配船をする契約を締結しており、空船率の低下を目指している。

そこで Brazil Maru などの大型船で往復輸送する事により、従来の航路よりも輸送・燃料効率を上げている。

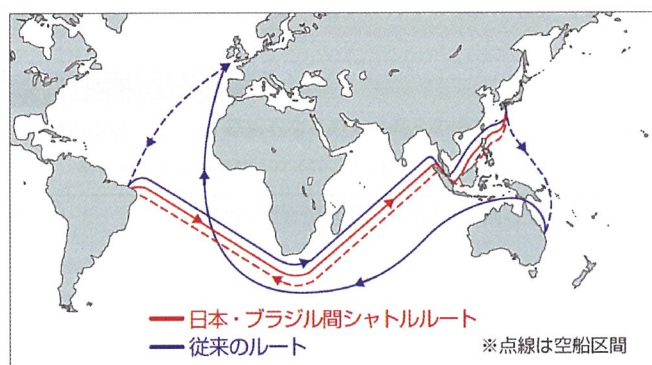


図 2.4-1 コンビネーション輸送(従来のルート)とシャトル輸送<sup>(13)</sup>より引用

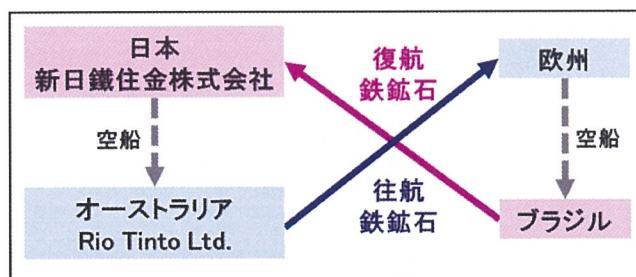


図 2.4-2 コンビネーション輸送<sup>(11)</sup>作成

2 JFE スチール株式会社は 2.3.1 節で述べたように、大型船を用いて大水深岸壁を有するブラジルとフィリピンの港湾を利用した運航を行っている。

日本ではあまり問題視されないが、中国の記事によれば、需要量に対し、荷揚げ量が過剰になり、保管場所が不足や過剰在庫という問題が起きている。保管場所が不足し、鉄鉱石が駐車場や臨時で別の場所に保管している<sup>(14)(15)(16)</sup>。大量輸入や、在庫を持つ事は良いが、過剰になってしまうと保管場所が不足してしまう。このため、需要量や保管場所などを考慮しなければならない。

そこで、新日鐵住金株式会社と JFE スチール株式会社にヒアリング調査を行った。その結果、一般的に、製鐵所は大凡 1 ヶ月程度の原料在庫を保管している。製鐵所や消費量によって異なるが、最大保管量を上回ると図 2.4-5 に示したような、保管場所の不足や在庫過剰などの問題が生じる。

新日鐵住金株式会社の君津製鐵所では、最大保管可能なヤードの保管能力は約 163.0 万トンであり、Valemax 船 4 隻で輸入される鉄鉱石の量に等しい。

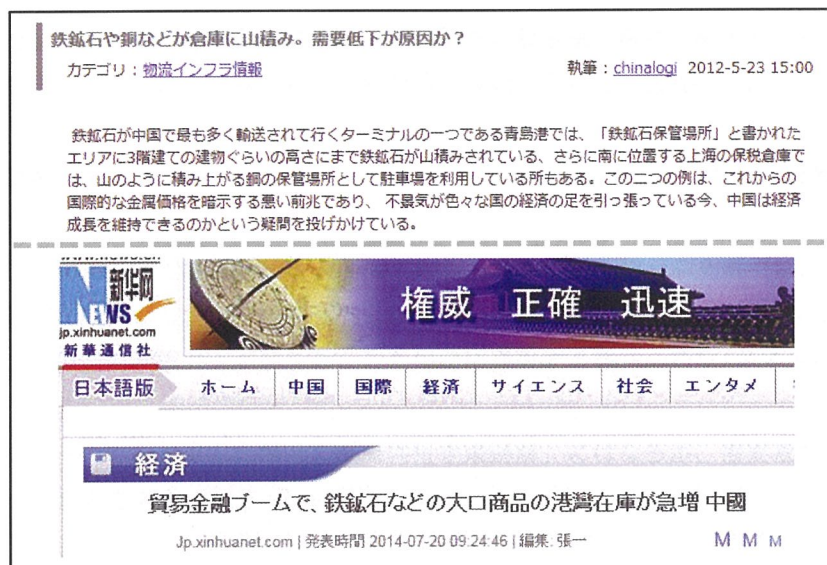


図 2.4-5 中国における保管場所不足・過剰在庫<sup>(15)(16)</sup>より引用

## 2.5 鉄鉱石輸入における現状の課題

2.1 節から 2.4 節までは、船舶動静データや統計年報、ヒアリング調査などから得た情報を纏めた。2.5 では、それに対する問題点を述べる。

現在の積出国は、オーストラリアやブラジル、南アフリカなどが生産量の大半を占めている。しかし、今後の操業状況やインフラ整備の投資などにより、生産量や輸出量に変化する可能性がある。

荷揚国の中で、中国の輸入量が最も多いが、中国の経済状況により、大幅に輸入量が減少する可能性がある。中国では、製鉄メーカーが乱立しており、鉄鋼生産量が過剰であるという指摘も多い<sup>(17)</sup>。また、日本も同様であり、日本全体、若しくは、港湾毎の輸入量に変化が生じてくる可能性もある。2.2.2 で述べたが、中国、韓国、フィリピンには鉄鉱石や石炭の中継基地があり、集荷される。日本にも大規模な中継基地を設けた場合、輸入量自体は変化せずとも、海上荷動き量に変化が生じ、寄港する船舶の船型や寄港回数、航路(荷揚港への寄港方法など)にも変化する可能性がある。

更に、船舶を受注するのは海運会社であるが、鉄鉱石の需要量は荷主で決まるため、需要量の見通しは非常に重要な観点である。需要量に対し、船腹量が過剰となると、積載率の低下や物流コストの増加に繋がる。

世界的に需要量予測などはしているが、産出量や需要量に変化した場合にも柔軟な対応が求められる。

船舶を運航する海運会社では、船舶を大型化する傾向がある。一般バルク船やコンテナ船など、近年大型化が非常に目立っている。大型船を運航した場合、復航(荷揚港から積出港へ向けた航路)で空荷状態が発生する。この空荷状態で大型船を動かした場合に発生する輸送の無駄(エネルギーなど)を指摘する声もある。

スケールメリットのみを追求した場合の「条件付き最適解」にはなるが、需要量など、前提条件が変化した場合の検討をする必要がある。

2.3 節でヒアリング調査をした結果、入港する際の待ち時間が非常に多い事が分かった。それにより、航海時間が伸びたり、運航に無駄な時間が生じたりしてしまう。その原因として、港に船舶が集中してしまい入港出来ない、荷役機械の故障やメンテナンス、保管スペースの空き待ちなどがあった。

2.4.2 節で述べた通り、船舶の船型大型化により大量輸送が可能になる事はスケールメリットという点で見れば良いが、需要量などに合わせなければ大型化をする事が最適であるとは言えない。また、保管場所不足や過剰在庫に陥る可能性もある。そこで、需要量と保管場所を考慮した検討をする必要がある事が分かった。



## 2.6 第2章に関する参考文献

- (1) 日本郵船調査グループ：2014 Outlook for the Dry-Bulk and Crude-Oil Shipping Markets  
海上荷動きと船腹需給の見通し，2014.10
- (2) 菱田元(独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構)：ブラジルの鉄鉱石資源「ブラジルの鉄鉱石資源」，2011.03
- (3) PROJECT Iron Boomerang East West Line Parks Ltd.：オーストラリア東西縦断鉄道敷設と製鉄工業団地の造成計画について
- (4) 竹下聡美(独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構)：世界の鉱業の趨勢 2014「ギニア」，2014.09
- (5) 日本貿易振興機構アジア経済研究所：アフリカ成長企業ファイル，  
<[http://www.ide.go.jp/Japanese/Data/Africa\\_file/Company/guinea01.html](http://www.ide.go.jp/Japanese/Data/Africa_file/Company/guinea01.html)>，最終アクセス 2015.07.01
- (6) Informa Group Plc Ltd. (Lloyd's Marine Intelligence Unit)：Bulk and Tanker Vessel Movement Datamase 2010 (船舶動静データ)，2010
- (7) 国土交通省：港湾統計(平成22年度分年報)，<<http://www.mlit.go.jp/k-toukei/search/excelhtml/01/01201000a00000.html>>，最終アクセス 2015.07.01
- (8) 日本郵船株式会社；中国・馬鞍山鋼鉄集団とブラジル・西豪州産鉄鉱石の長期輸送契約を締結，  
<[http://www.nyk.com/release/787/NE\\_100915.html](http://www.nyk.com/release/787/NE_100915.html)>，2006.12.04，最終アクセス 2015.07.01
- (9) 日本郵船株式会社；BHP ビリトン社と初の長期輸送契約を締結，  
<[http://www.nyk.com/release/787/NE\\_100915.html](http://www.nyk.com/release/787/NE_100915.html)>，2010.09.15，最終アクセス 2015.07.01
- (10) 新日鐵住金株式会社：ブラジル鉄鉱石輸送におけるリオ・ティント社とのコンビネーション輸送ならびに新造船大型鉄鉱石輸送契約の合意について，2004.06.08，  
<[http://www.nssmc.com/news/old\\_nsc/detail/index.html?rec\\_id=2903](http://www.nssmc.com/news/old_nsc/detail/index.html?rec_id=2903)>，最終アクセス 2015.07.01
- (11) 商船三井株式会社：BRASIL MARU by the Numbers, Annual Report, 2008
- (12) 川崎汽船株式会社：JFE スチール株式会社との鉄鉱石・石炭長期輸送契約締結の件，  
<[https://www.kline.co.jp/news/detail/1193923\\_1454.html](https://www.kline.co.jp/news/detail/1193923_1454.html)>，最終アクセス 2015.07.01，2012.03.08
- (13) 新日鐵住金：暮らしを支える海上物流と船の進化，季刊，Vol.2
- (14) 日本経済新聞：とまらぬコンテナ大型化 グローバル物流の見直しを，2013.06.03，  
<[http://www.nikkei.com/article/DGXNASDD3102R\\_R30C13A5000000/](http://www.nikkei.com/article/DGXNASDD3102R_R30C13A5000000/)>，最終アクセス 2015.07.01
- (15) 中国物流.biz：鉄鉱石や銅などが倉庫に山積み。需要低下が原因か？，2012.02.23，<[http://中国物流.biz/wuliu\\_xinxi/details.bid+192.htm](http://中国物流.biz/wuliu_xinxi/details.bid+192.htm)>，最終アクセス 2015.07.01
- (16) 新華通信社：貿易金融ブームで鉄鉱石などの大口商品の港湾在庫が急増，2014.07.20，<[http://big5.asean-china-center.org/gate/big5/jp.xinhuanet.com/2014-07/20/c\\_133496770.htm](http://big5.asean-china-center.org/gate/big5/jp.xinhuanet.com/2014-07/20/c_133496770.htm)>，最終アクセス 2015.07.01



- ( 1 7 ) 週刊東洋経済 Online : 海運市況が急上昇, 2013. 10. 06, <<http://toyokeizai.net/articles/-/20696?page=2>>, 最終アクセス 2015. 07. 13

### 第3章 国際バルク戦略港湾政策における目標と課題

#### 3.1 鉄鉱石輸入における運賃と日本政府の動向

鉄鉱石や他バルク貨物における運賃は世界的な競争となっており、為替レート、航路、資源価格と運賃の比率などが重要視される。品目、船型や航路などで比較するため、三大バルクの平均運賃を表 3.1-1 に示す。

ブラジルー日本間の運賃は、オーストラリアー日本間の運賃の約 2 倍となった。鉄鉱石の輸入国として、中国と日本が上位に挙げられており、ブラジルー北東アジア間における運賃を下げる必要がある。

そこで、船型に着目すると、Capesize 船と Panamax 船の運賃では、規模の経済力により、10USD/t もの差が生じている。世界的な価格競争から、ブラジルの Companhia Vale do Rio Doce S.A. は船舶の大型化による(船型 40 万 DWT 級の大型船)コスト削減を目指している。

また、オーストラリアー日本間で、品目別に輸送コストを比較する。鉄鉱石の価格は 130USD/t であり、運賃が 10USD/t であるので、輸送費と価格の比率は約 8.0%となる。一方、原料炭の価格は 220USD/t であり、運賃は 12USD/t であるので、輸送費と価格の比率は約 5.0%となる(2008 年の価格を参考に算出した)<sup>(1)</sup>。

表 3.1-1 品目・航路別運賃<sup>(1)</sup>

| 品目  | 航路         | 船型<br>Type | 平均運賃 (USD/t) |           |
|-----|------------|------------|--------------|-----------|
|     |            |            | 2008年(年間)    | 2009年(5月) |
| 石炭  | オーストラリアー日本 | Capesize   | 25.7         | 11.8      |
|     | オーストラリアー日本 | Panamax    | 35.0         | 12.0      |
| 鉄鉱石 | ブラジルー日本    | Capesize   | 59.1         | 25.8      |
|     | オーストラリアー日本 | Capesize   | 23.1         | 10.0      |
| 穀物  | ガルフー日本     | Panamax    | 114.1        | 50.3      |

※Capesize: 14万～18万DWT

日本においても運賃が高い事が懸念されており、日本政府は政策を策定した。そこで、日本における政策や動向に注目する。

2009 年に 12 月に国土交通省は「国際バルク戦略港湾政策検討委員会」を開催した。その翌年 6 月に国際バルク戦略港湾の募集し、翌々年 5 月には港湾の選定結果を公表している。この「国際バルク戦略港湾政策」の目標は資源・エネルギー・食糧などの安定的かつ安価な輸入の実現に向けた効率的な海上輸送網の形成である。実現するための方策として、大型船に対応した港湾機能の拠点の確保や企業間の連携の促進などを挙げている。

参考文献(2)によれば、2013 年 2 月に、国土交通省は大型の一般バルク船を利用した、貨物の共同配船を方針として挙げている。拠点港湾を選定し、埠頭の荷捌き用の大型クレーンの設置などにおける財政支援をする。この拠点港は、国際バルク戦略港湾の中から順次選定する見通しである。

また、参考文献(3)(4)によれば、2014 年 10 月には、全国 10 港湾の拠点港に集中的な投資を行う。具体的な数値として、輸送コストを 4 割程度削減する事を掲げ、2018 年には大型船を利用した一括大量輸

送を行うとしている。政府の試算によれば、石炭輸送において利用する船舶を船型 7.8 万 DWT から船型 12 万 DWT に変えた場合、輸送コストを 4 割削減する事が可能であり、1,619 円/t で輸送出来るようになるという。

### 3.2 国際バルク戦略港湾政策の概要

日本政府は、三大バルクである、石炭、鉄鉱石、穀物を対象にしている。国際バルク戦略港湾政策として、貨物輸入量や大型船の入港実績のある港湾が選定されている。

本研究では、品目別で見た場合、最も運賃が高かった鉄鉱石輸入に着目する。第1章でも述べたが、国際バルク戦略港湾政策の目的は、貨物を安定的、且つ、安価に輸入する事である。表3.2-1は、当該政策の総合的な対策を纏めたものであり、表3.2-2は鉄鉱石の戦略港湾を選定するための評価項目と選定結果を纏めたものである。

表3.2-1 国際バルク戦略港湾政策における総合的な対策<sup>(5)</sup>より作成

|     |   |
|-----|---|
| 目標  | 2015年：現在主力となっている輸送船舶の満載での入港に対応<br>2020年：最大級の輸送船舶の満載での入港に対応                            |
| 方策  | 輸入の効率化のための企業連携の促進<br>大型船舶に対応した港湾機能の拠点的確保<br>「民」の視点での効率的な運営体制の確立<br>船舶の運航効率改善のための制限の緩和 |
| 具体例 | 船舶の大型化に対応したインフラ整備<br>荷役機械の高規格化の推進   |
| 予算  | 事業費：77億円、国費：47億円  |

表3.2-2 国際バルク戦略港湾選定のための評価項目及び結果(鉄鉱石)<sup>(6)(7)</sup>より作成

| 評価項目        |                  |  | 木更津港    | 水島港     |
|-------------|------------------|--|---------|---------|
| 政策の目的と目標    | 目的               | 大型船の活用等により、他アジアの主要港湾とくらべて遜色のない物流コスト・サービスの実現<br>物資を安定的かつ安価に供給することを目指したもの                  | 47/50   | 45/50   |
|             | 目標               | 2015年：現在主力となっている輸送船舶の満載での入港<br>2020年：最大級の輸送船舶の満載での入港                                     | 48/50   | 28/50   |
| 政策の実現のための方策 | 企業連携の促進          | 具体的な方策が提案されているか  | 88/100  | 49/100  |
|             | 港湾機能の拠点的確保       | 最大級の輸送船舶に対応するための具体的な方策が提案されているか  | 141/200 | 104/200 |
|             | 「民」の視点での効率的な運営体制 | 「民」の視点からの効率的なターミナル運営が可能であること   | 71/100  | 70/100  |
|             | 船舶運航効率改善のための制限緩和 | 規制緩和等による先導的・実験的な提案が盛り込まれていること  | 56/100  | 73/100  |
| 政策の効果       | 物流コスト削減効果        | トータル物流コストが削減されるものであること   | 162/200 | 136/200 |
| 政策の実現のための体制 | 地理的優位性           | 消費地への近接性等の地理的優位性を有する   | 47/100  | 43/100  |
|             | 施設の物理的優位性        | 大型船舶の入港に向け、航路や岸壁等の基本的な港湾施設、荷役機械、保管施設等既存施設が他港と比較して物理的優位性を有すること                            | 73/100  | 76/100  |
|             | 実現のための体制         | 荷主、ターミナル会社、メーカーなどロジスティクスを支える関係者の役割分担等についての合意のもとに実現可能な計画作りが行われていること                       | 42/50   | 36/50   |
| その他         | 必要な予算            | 最小限の予算で最大の効果を発揮しうること   |         |         |
|             | その他確認事項          | CO <sub>2</sub> 排出量削減に寄与するものであること<br>災害時においても我が国産業の持続的な操業を可能とするものであること<br>港湾管理者の財政状況の見通し |         |         |

参考文献(5)を見ると、国際バルク戦略港湾政策による「資源・エネルギーなどの安定的、且つ、安価な輸入の実現に向けた効率的な海上輸送網の形成」と書いてあるが、具体的な海上輸送網に関して述べられていない。また、参考文献は平成27年の資料であるが、数年分を読み比べてみたところ、あまり進展していない状況にある。



表 3.2-2 によれば、最大級の船型における満載での入港可否が項目として挙げられているが、最大級の船型による物流コストが如何程か不明である。そのため、大型船の導入にかかる費用と、大型船による物流コストの費用対効果が不明瞭である。また、企業の連携とあるが、どのような連携を想定しているのか、話の進展具合も不明瞭なのが現状である。

次節 3.3 節及び 3.4 節では、鉄鉱石における日本の主要荷揚港の計画と現状の詳細について述べる。更に 3.5 節では海外の港湾における目標や現状を整理し、3.6 節では国際バルク戦略港湾政策の課題を述べる。

### 3.3 戦略港湾における目標と現状

#### 3.3.1 東京湾における主要航路と港湾

東京湾内には、主要港湾が存在し、船舶輻輳海域としても知られている。主要港湾としては、東京港、川崎港、横浜港、木更津港、千葉港、横須賀港、が挙げられる。前者3港は、国際コンテナ戦略港湾であり、木更津港は重要港湾であり、鉄鉱石の国際バルク戦略港湾、千葉港は国際拠点港湾、そして横須賀港は重要港湾として選定されている。貨物の輸出入量が非常に多く、船舶が輻湊する東京湾では航路が定められている。図3.3-1は、航路や港湾位置を示したものである。



図 3.3-1 東京湾の主要航路 (8) (9) より作成

国際戦略港湾は、国際競争力の強化を図るために定めた港湾である。国土交通省に各管理者が応募し、厳選な審査により定まった港湾である。大きく分けて、国際コンテナ戦略港湾と国際バルク戦略港湾がある。

国際拠点港湾とは、旧名(2011年4月まで)を特定重要港湾といい、港湾法第2条2号に定められた、国際海上輸送網の拠点として重要な港湾を指す。先述した国際戦略港湾は、国際拠点港湾の上位港湾として位置付けられている。

重要港湾とは、港湾法第2条第2項において「国際海上輸送網、または、国内海上輸送網の拠点となる港湾その他の国の利害に重大な関係を有する港湾で政令の定めるもの」と定義されている港湾であ

る。1950年に新設された精度であり、2014年4月では103港が選定されている。主に工業地帯付近にある港湾が選定されており、日本の産業を支えている。

2011年における日本の港湾毎の外貿輸出入取扱貨物を比較してみると、コンテナ取扱個数は1位東京港(4,143千TEU)、2位横浜港(2,803千TEU)と上位2位の港湾が東京湾の港湾である。LNG(液化天然ガス)の輸入量では、1位千葉港(24,749千トン)、2位木更津港(24,536千トン)、4位川崎港(13,572千トン)であった<sup>(10)</sup>。

東京湾の主要航路は、図3.3-1で示したように、中ノ瀬航路と浦賀水道航路がある。1998年から2010年の各航路(浦賀水道航路、中ノ瀬航路、伊良湖水道航路、備讃瀬戸航路、明石海峡航路、その他の航路)における巨大船(船長160.0m以上の船舶)航行量の調査では、浦賀水道航路、伊良湖水道、中ノ瀬航路の順に航行量が多かった<sup>(11)</sup>。2010年の数値では、浦賀水道は約10,000隻強、伊良湖水道航路は4,000隻強、中ノ瀬航路は3,000隻強であった。また、同資料によれば、東京湾内主要6港(東京港、川崎港、横浜港、木更津港、千葉港、横須賀港)における1隻あたりの総トン数は増加傾向にある(2003年から2011年の統計資料)。

以前は大型船の安全航行が懸念されていたが、-23.0mの水深を確保するため、浦賀水道航路に存在した第三海堡の撤去や浚渫工事を行い、平成20年8月に完了している<sup>(12)</sup>。現在は、中ノ瀬航路と浦賀水道航路を合わせた東京中央航路の開発を進めている。

以上の事から、東京湾内の港湾の重要性が明らかになった。また、今後も東京湾の港湾に入港する船舶の隻数が増加や、大型船の就航隻数の増加が予測される。そのため、国際コンテナ戦略港湾政策や国際バルク戦略港湾政策といった、政策を元に、航路や東京湾内の港湾整備を進めている。

東京湾内は主要港湾が多く位置しているが、鉄鉱石の戦略港湾として選定されている木更津港の詳細を3.3.2節に記す。



### 3.3.2 木更津港の目標と現状

図 3.3-2 は、木更津港及びその周辺の航路を記したものである。木更津港には、東京湾東岸南部に位置し、京葉工業地帯の一翼を担っている。吾妻地区、木更津南部地区、君津地区、富津地区の4つの地区から構成されている。木更津南部地区及び君津地区には新日鐵住金株式会社及びその関連会社、富津しくには東京電力富津火力発電所及び流通加工型工業が立地している<sup>(13)</sup>。平成24年の年間入港船舶は、外航船1,220隻、内航船17,918隻となっている。

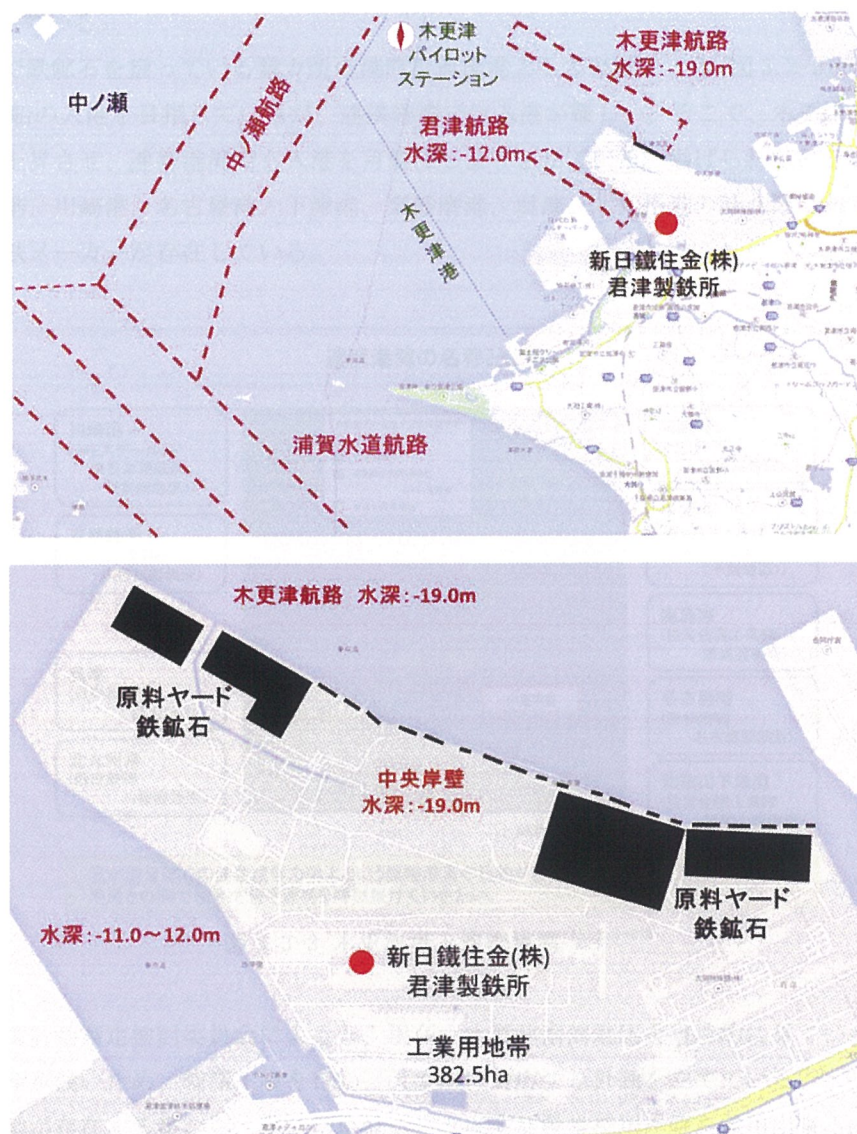


図 3.3-2 木更津港<sup>(8) (10) (11) (12) (13) (14)</sup>より作成

新日鐵住金株式会社の君津製鉄所があり、鉄鉱石の輸入が多い。品種別取扱貨物輸入量<sup>(13)</sup>を見てみると、化学工業品が267万トン、鉱産品が190万トン、林産品(原木、製材、樹脂類など)が39万トンとなっている。鉱産品では、鉄鉱石(130万トン)、石炭(59万トン)、非金属鉱物(7万トン)の順に多



い。

木更津港の計画と取り組みを纏めたものを表 3.3-1 に示す。木更津港の港湾としての目標、木更津港の連携港湾別の目標、連携に向けた方策、木更津港の提案している荷揚げパターン、現状での港湾整備の状況を纏めた。

国際バルク戦略港湾に選定された木更津港は、製鉄所が多い本港では、2020 年までに VLCC 船が満載で入港可能にする事を目標としており、航路や泊地の水深を-23.0m程度にするという計画を立てている。現在の計画では、君津地区における木更津航路も拡大工事を行っており、航路水深を-19.0m、幅員 450.0mとしている。

また、国内で鉄鉱石を扱っている数カ所の港湾を連携港として挙げている(図 3.3-3)<sup>(15)</sup>。木更津港は VLCC 級の大型船の入港を目指しているが、連携港湾では入港が難しい。そこで、木更津港で一部荷揚げを行い、喫水を上昇させ、連携港湾でも入港を可能にしようとしている。挙げられている港湾は室蘭港、鹿島港、千葉港、川崎港、名古屋港、下津港、東播磨港、呉港、北九州港の計 9 港であり、どの港湾も付近に大手製鉄メーカーが存在している。

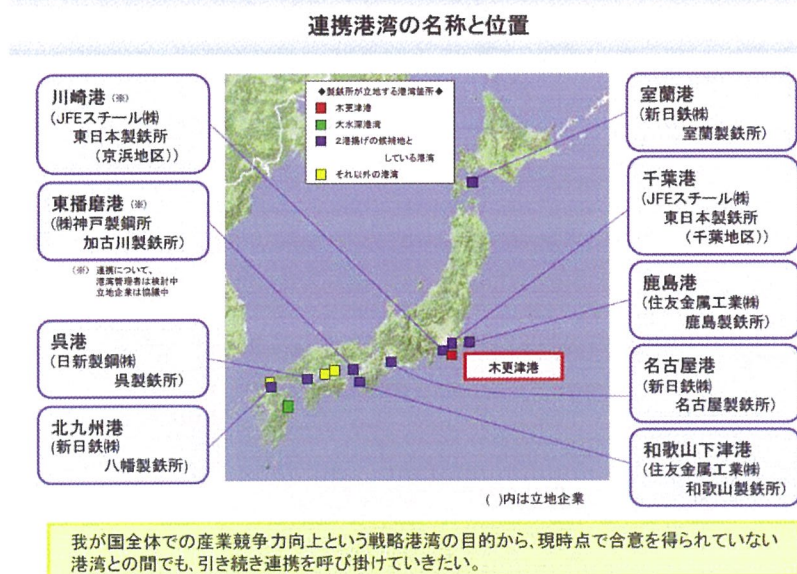


図 3.3-3 木更津港と連携港湾<sup>(15)</sup>より引用

木更津港港湾計画策定検討委員会によると、現在、木更津南部地区を重点的に見ている。当地区は、岸壁や航路水深が浅いため、増深工事を行い、大型船に対応する計画を立てている<sup>(12)(13)</sup>。また、港湾背後に防災緑地が存在する事から、緊急物資輸送用と産業活動維持用岸壁を兼用出来る港湾を目指し、耐震強化岸壁を目指している。

木更津港は、2011 年に Companhia Vale do Rio Doce S.A. が運航している船型 40 万 DWT 級の Valemax 船が入港した実績があり、港湾整備に関しては計画通りに進行している。しかし、港湾同士の連携という点では、室蘭港などの一部の港湾とは話が進んでいるが、他の港湾との連携に関しては不明

確である。

表 3.3-1 木更津港の計画と取り組み <sup>(15) (16) より作成</sup>

|      |          |         |  |
|------|----------|---------|--|
| 木更津港 | 目的       |         | 鉄鉱石受入港湾の能力増強と、当該港湾を軸とした船舶利用の規制緩和策とを組み合わせることによる資源輸送コストと波及効果を通じ、「最小の事業費で最大の効果発揮」を企図し、日本の産業競争力の向上に資する |
|      | 連携港湾     | 室蘭港     | 整備計画：20万DWT級Capesizeに対応する為の水深、バルクターミナル整備   |
|      |          | 鹿島港     | 減載したVLOCのセカンドポート、航路水深-21.5m(防波堤外)、-19.0m(防波堤内)   |
|      |          | 他連携港湾   | 千葉港、川崎港、名古屋港、下津港、東播磨港、呉港、北九州港<br>※鹿島港及び名古屋港は穀物の国際バルク戦略港湾   |
|      | 連携に向けた方策 |         | 室蘭港との協力合意は得られている。他港湾は不明。   |
|      | 荷揚げパターン  | 現状      | 木更津港で1港揚げ、大分港に寄港する2港揚げ など  |
|      |          | 目標      | 木更津港で一部卸しを行い、連携港湾での2港揚げ  |
|      |          | 現状      | Valemaxの就航   |
|      | 整備       | 対応船型の目標 | 2020年：VLCC船の入出港  |
|      |          | 水深の目標   | 木更津港航路の水深を-23.0m（工事予定期間：H24-32年）   |
|      |          | 現在の取り組み | 中ノ瀬航路・浦賀航路と木更津航路を統合させた東京中央航路として工事を進める  |



### 3.3.3 瀬戸内海における主要航路と港湾

瀬戸内海は、本州、四国、九州に囲まれた内海であり、紀伊水道、大阪湾、播磨灘、備讃瀬戸、備後灘、燧灘、安芸灘、広島湾、伊予灘、周防灘の10区分から構成されている(領海及び接続水域に関する法律第2条、同法施行令第1条)。図3.3-4は、瀬戸内海の主要な航路と港湾の立地を記したものである。



図 3.3-4 瀬戸内海主要航路 (8) (17) (18) より作成

瀬戸内海は、狭い水道、多島海、強力な潮流、漁業などで知られている。輻輳海域であるので、明石海峡航路、備讃瀬戸東航路、宇高東航路、宇高西航路、備讃瀬戸北航路、備讃瀬戸南航路、水島航路、



来島海峡航路が存在し、交通規則が定まっている(図 3.3-4)。水島港は航路幅が狭く、600m~700m程度である。海上交通安全法によれば、船長 70.0m を越える巨大船は航路外で待機するよう管制される事がある。また、来島海峡航路は航路幅が狭いだけでなく、潮流も強く、航海時の難所である。

瀬戸内海には、瀬戸内工業地域が広がっており、その出荷額は中京工業地帯、阪神工業地帯に次いで第3位となっている<sup>(19)</sup>。当工業地帯では、機械、科学、金属の順に多い。

特定重要港湾の水島港、広島港、徳山下松港や、重点港湾の宇野港、福山港、呉港、岩国港、宇部港、徳島小松島港、高松港、坂出港、松山港、東伊予港といった、重要な港湾が数多く存在している。中でも、国際バルク戦略港湾として、水島港(穀物)、福山港(鉄鉱石)、徳山下松・宇部港(石炭)が選定されている。

2012 年の国際バルク戦略港湾別の年間輸入統計<sup>(19)(20)</sup>で、瀬戸内海に属する港湾を見てみる。鉄鉱石は福山港が最も多く(1,521 万トン/年)、水島港(1,495 万トン/年)が2位であった。石炭は首位が福山港(828 万トン/年)、2位に徳山下松港(783 万トン/年)、4位が水島港(659 万トン/年)であり、とうもどこしでは4位が水島港(147 万トン/年)であった。

鉄鉱石の積出国別の年間輸送量に着目する。ブラジルからの輸入が、2000 年に 2,573 万トン/年であったのが 2011 年には 3,314 万トン/年にまで増えている事が同資料から分かった。他バルク貨物に関しても、ブラジルからの輸入が増加している傾向があった。

木更津港と同様、国際バルク戦略港湾として水島港は選定されている。両港の一港化及び瀬戸内海のハブ・アンド・スポーク輸送を目指している。VLCC 船が入港可能なフィリピンと連携し、2020 年までに Setouchimax を入港可能にさせる計画を立案している(図 3.3-5)<sup>(21)</sup>。

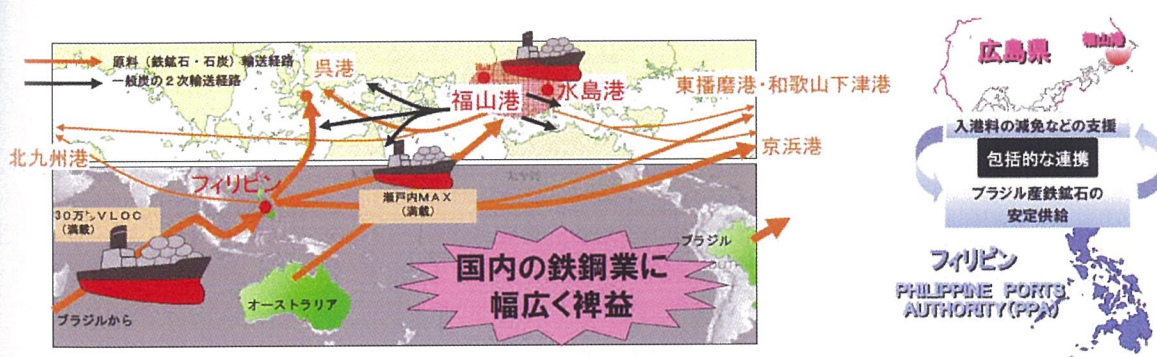


図 3.3-5 水島港とフィリピン港湾の連携<sup>(21)</sup>より引用

上述した通り、水島港を中心とした瀬戸内海の港湾では、具体的な整備計画及び浚渫工事などが進んでいる。各港湾が港湾計画書を作成し、その工事の事後評価などを行い、進捗状況を公表している。

また、国土交通省は、貨物を共同輸送するための大型船の受け入れ体制を、水深だけではなく、荷卸にも着目し、支援を行っている<sup>(21)</sup>。

しかし、先述した通り、瀬戸内海は航海の難所であるため、港湾の整備だけではなく、航路の整備も



進めていく必要があると言える。また、大型船を導入した場合の削減効果の概算などは行っているが、具体的にどの程度の船舶の入港を目標としているか不明である。更に、水島港の掲げている計画として、フィリピンの港湾との連携を進めているとあるが、航路(荷揚げ港への寄港方法など)といった具体的な連携方法は不明確である。

3.3.4 では、戦略港湾である水島港に関して詳細を述べる。

### 3.3.4 水島港の目標と現状

水島港は、水島地区から玉島地区の2つの地区から構成され、その背後にはJFEスチール株式会社や三菱自動車工業株式会社、旭化成株式会社などが存在している。鉄鋼企業、自動車企業、石油化学企業、飼料製造会社など、様々な企業が存在する水島臨海工業地帯を持つことから、貨物取扱量が多い事が推測出来る。また、当港湾は、国際バルク戦略港湾だけではなく、2011年12月には「ハイパー&グリーンイノベーション水島コンビナート総合特区」として指定されている<sup>(22)(23)</sup>。図3.3-6に、水島港の概要を示す。

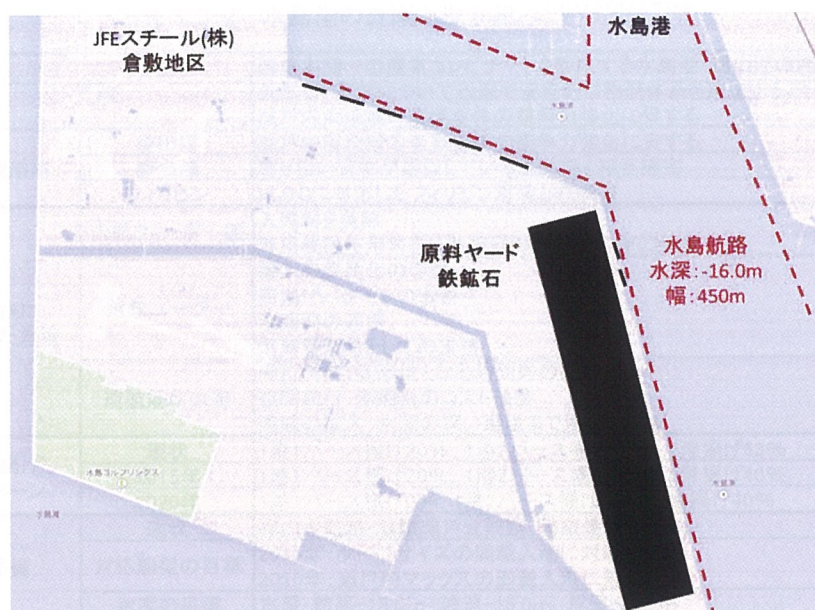


図 3.3-6 水島港<sup>(8)(17)(23)</sup>より作成

水島港は、バルク貨物の取扱量が全国第3位であり、原油、鉄鉱石、穀物(とうもろこし、大豆)の輸入量が多いとされている。港湾の整備目標は、2015年までにPanamax船、2020年までにPost-Panamax船に対応可能な航路及び泊地と専用施設を整備すると掲げている<sup>(21)</sup>。水島航路は、-16.0m以上の水深を有しており、潮汐を利用すれば現段階でもPost-Panamaxの航行が可能である。故に、他の泊地や施設のみを整備すれば良い状況であり、現状では専用施設(岸壁。荷役機械など)は、ほぼ整備が済んでいる。

水島港の計画と取り組みを表3.3-2に示す。水島港の目標、水島港の連携港湾別の目標、連携に向けた方策、荷揚げのパターン港湾の整備目標、物流コストの削減見込を纏めた。

当該港湾の目標としては、大型船の入港を可能にし、ファーストポートとしての役割を担う事は勿論の事、内航フィーダー輸送の港湾としても機能する事を想定している。

2012年における港湾計画では、玉島地区の玉島ハーバーアイランドを中心としているものが多いが、水島地区の水島航路付近の浚渫工事なども計画している。水島航路は、現在-16.0mの水深を有す

るが、2020年までに-17.0mまで増深する予定である。港湾の水深と船舶の必要水深の関係から算出した結果、-16.0mでは船型9万DWT級のPost-Panamax船、-17.0m程度であれば船型12万DWT程度のCapeseize船の入港が可能となる。

水島港において、国際バルク戦略港湾政策に則った港湾整備が進められている。連携港湾に関しては、フィリピンの中継基地や港湾との連携も挙げられている。しかし、国内の港湾同士の連携もままならぬ状況の中、海外との港湾の連携は困難な事が懸念される。また、荷揚げパターンとして、内航フィーダー船を利用したものが挙げられているが、どの程度の削減効果があるかは不明である。

表 3.3-2 水島港の計画と取り組み <sup>(21) (22) (25) より作成</sup>

|     |           |          |   |
|-----|-----------|----------|---|
| 水島港 | 目的        |          | 西日本随一の産業コンビナートを形成する水島港・福山港の拠点性を活かし、鉄鉱石・石炭について低廉で安定的な物流体系を確立することにより瀬戸内海地域の産業全体の競争力強化に資する |
|     | 連携港湾      | 福山港      | 瀬戸内海地域の産業全体の競争力強化に資する   |
|     |           | 鹿島港      | 取り扱い貨物が類似している鹿島港と相互補完   |
|     |           | フィリピン    | VLOCに対応したフィリピン港湾との連携  |
|     | 連携に向けた方策  | 内航フィーダー船 | 入港料を免除<br>専用棧橋使用料を公共埠頭の使用料以下に低減   |
|     |           | 対象ユーザー   | 輸入の集約化の促進<br>荷揚げパターンの改善<br>港湾間の連携<br>港湾管理者としての支援  |
|     |           | 運航効率改善   | 潮位利用：高潮位となる時間帯の航行<br>夜間航行：滞船料のコスト改善<br>港域の拡大：水深の深い海域まで港域を拡大                             |
|     | 荷揚げパターン   | 現状       | 1港1バース揚げ20%、1港2バース揚げ17%、2港揚げ63%   |
|     |           | 2015年    | 1港1バース揚げ20%、1港2バース揚げ40%、2港揚げ40%   |
|     |           | 2020年    | 1港1バース揚げ0%、1港2バース揚げ60%、2港揚げ40%  |
|     | 整備        | 現状       | 福山本航路・備讃瀬戸北航路：積載量約17万トン   |
|     |           | 対応船型の目標  | 2015年：ケーブサイズの満載入港に対応<br>2020年：瀬戸内マックスの満載入港に対応   |
|     |           | 水深の目標    | 水深：航路-18.0m、泊地-18.0m、岸壁-20.0m   |
|     | 物流コスト削減見込 | 2015年    | 約47億円   |
|     |           | 2020年    | 約69億  |



### 3.4 連携港湾の目標と現状

#### 3.4.1 室蘭港

図 3.4-1 は、室蘭港における地域別海上輸出入量と移出入量を示している。輸出の割合で見ると、アジアと北アメリカ、輸入で見るとアジアとオセアニアが多い。また、地域別の移出入量で見ると、移出量は北海道域内、東北関東が多い。しかし、移入量を見ると関東の次に九州が多く、近距離のみで輸送を行っているのではない事が分かる。また、移出入の品目を見ると、鉱産品が最も多い(約 60.0%)。主な取扱貨物は、原油、石油製品、鉄鉱石、石炭となっており、2010 年の港湾取扱貨物量は約 3,258 万トンである。特に、鉄鉱石及び石炭の輸入量はそれぞれ 300 万トン以上となっている。

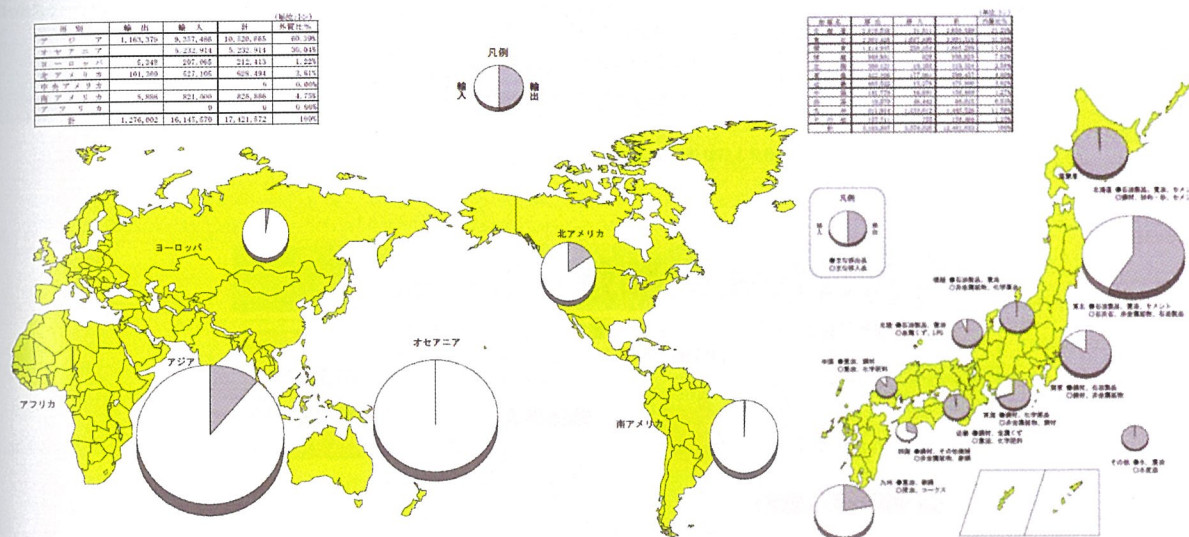


図 3.4-1 室蘭港における地域別海上輸出入量・移出量(26)より引用

その背景は、室蘭港の立地に関係している。図 3.4-2 は、室蘭港を示している。参考文献(27)によれば、新日鐵住金株式会社の製鉄所や株式会社日本製鋼所室蘭製作所、JX 日鉱日石エネルギー株式会社の製油所などがあり、北海道を代表する重化学工業地域となっている。

室蘭港は、3.3.1 でも述べた通り、木更津港の連携港湾として挙げられている。また、室蘭港も石炭の国際バルク戦略港湾として立候補していた。その理由としては、鉄鉱石や石炭などの輸入量が多い事もあるが、設備が整っている事も大きい(図 3.4-3)。

現在の本航路水深は-16.5m程度だが、2017 年までの港湾整備目標として-19.0mを目指している。水深が-19.0mとなれば、潮汐を利用せずとも、Capesize 船の入港が可能となる。航路の浚渫工事及び岸壁工事などの総費用として、約 402 億円を予想している。

更に、苫小牧港、能代港、釜石港、酒田港との連携し、ファーストポートとして、入港した巨大船の喫水調整を行う役割を担う事を視野に入れている。地理的優位性として、北海道及び東北地域の企業間及び港湾間の連携が可能な点が挙げられる。これは、図 3.4-1 の移出入量からも読み取れる。



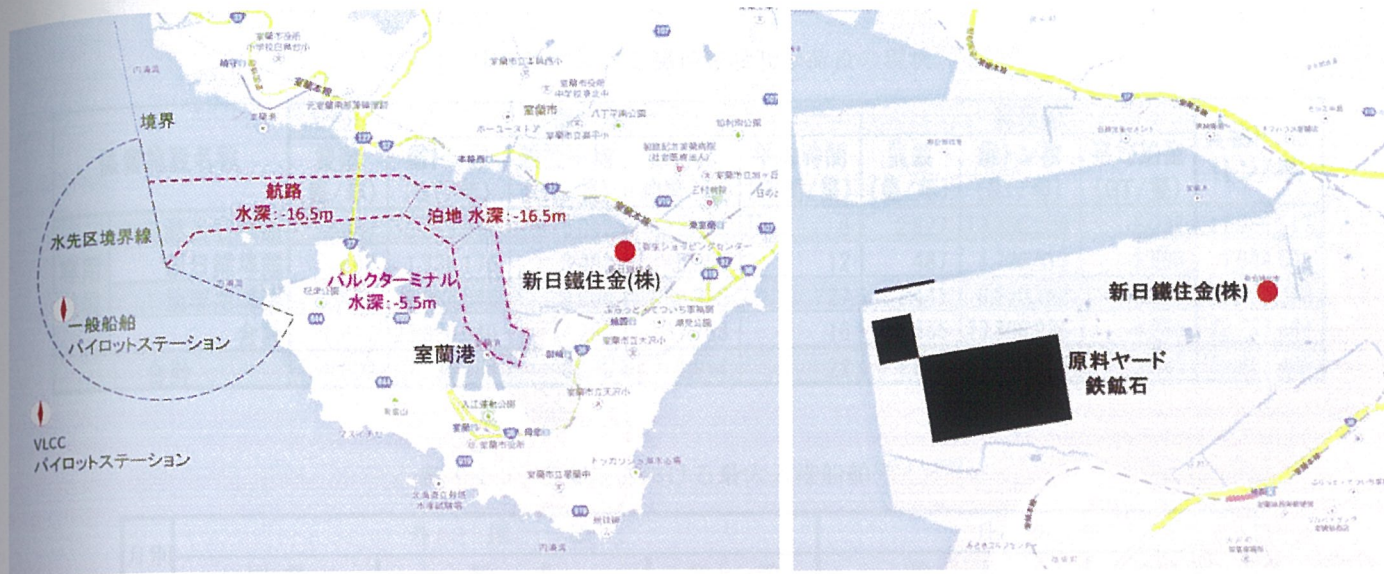


図 3.4-2 室蘭港 (8) (14) (27) より作成

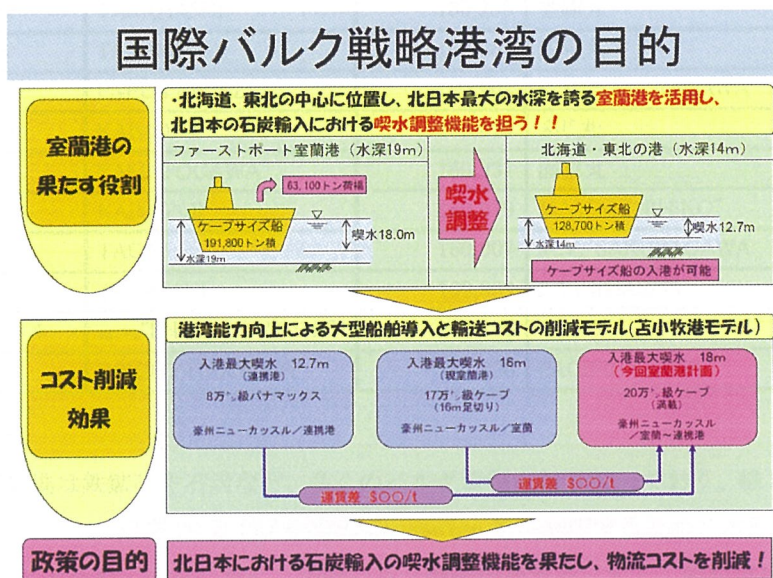


図 3.4-3 室蘭の国際バルク戦略港湾政策 (27) より作成

表 3.4-1 は、室蘭港における係留施設及び荷役の現状を、表 3.4-2 は月別の最大入港船舶を示している。表 3.4-2 から、入港する最大船舶は 16 万 DWT 程度が多い事が読み取れる。

室蘭市港湾部にヒアリング調査を行ったところ、鉄鉱石の輸送に関しては、木更津港をファーストポートと位置付け、喫水調整後、当該港湾に入港させているという。鉄鉱石は室蘭港の新日鐵住金株式会社の埠頭 19 号岸壁に停泊する。当該岸壁の水深は-16.5mである。木更津港に入港する船型が更に大型化する事を想定しており、室蘭港として整備は行わないが、木更津港の整備要望の連名や情報提供などの側面的サポートを進めているとの事であった。



表 3.4-1 室蘭港における係留施設及び荷役の現状<sup>(26)</sup>より作成

| 係留施設名称   |         | 係留状況        |                |                |               | 荷役船            |             |                | 貨物トン数<br>(トン/年) |                |
|----------|---------|-------------|----------------|----------------|---------------|----------------|-------------|----------------|-----------------|----------------|
|          |         | 隻数<br>(隻/年) | 総トン数<br>(GT/年) | 船型平均<br>(GT/隻) | 総時間<br>(時間/年) | 平均時間<br>(時間/隻) | 隻数<br>(隻/年) | 総トン数<br>(GT/年) |                 | 平均船型<br>(GT/隻) |
| 専用<br>施設 | JX日鉱石埠頭 | 2,634       | 13,279,819     | 5,042          | 15,478        | 6              | 2,627       | 13,230,230     | 5,036           | 17,099,517     |
|          | 新日鐵埠頭   | 497         | 1,736,176      | 3,493          | 5,950         | 12             | 487         | 1,708,513      | 3,508           | 1,844,535      |
|          | 他専用埠頭   | 2,486       | 8,964,045      | 3,606          | 66,335        | 27             | 2,441       | 8,870,192      | 3,634           | 9,303,012      |
|          | 合計      | 5,617       | 23,980,040     | 4,269          | 87,763        | 16             | 5,555       | 23,808,935     | 4,286           | 28,247,064     |
| 合計       |         | 8,322       | 27,235,189     | 3,273          | 181,814       | 22             | 6,623       | 25,478,973     | 3,847           | 29,903,405     |

表 3.4-2 室蘭港における最大入港船舶<sup>(26)</sup>より作成

| 月別 | 外 国 船  |                      |         | 日 本 船             |         |
|----|--------|----------------------|---------|-------------------|---------|
|    | 国 籍    | 船 名                  | 総トン数    | 船 名               | 総トン数    |
| 1  | シンガポール | m.v. "PHOENIX VIGOR" | 160,160 | M.V. "SAKURAGAWA" | 160,068 |
| 2  | パナマ    | M.V. "NAGARAGAWA"    | 159,941 | NSS CONFIDENCE    | 113,606 |
| 3  | パナマ    | TAKAHASHI            | 160,295 | 室蘭丸               | 67,524  |
| 4  | パナマ    | TAKAMINE             | 159,984 | 国東丸               | 110,039 |
| 5  | パナマ    | ENEOS BREEZE         | 159,909 | M.V. "SAKURAGAWA" | 160,068 |
| 6  | パナマ    | KAIMON II            | 160,079 | ふじ丸               | 23,235  |
| 7  | パナマ    | YAMATOGAWA           | 160,231 | 国東丸               | 110,039 |
| 8  | パナマ    | KAIMON II            | 160,079 | M.V. "NICHIIHIKO" | 120,782 |
| 9  | パナマ    | TAGA                 | 160,007 | M.V. "SAKURAGAWA" | 160,068 |
| 10 | パナマ    | TAKASAKI             | 159,939 | KASHIMASAN        | 159,840 |
| 11 | シンガポール | m.v. "PHOENIX VIGOR" | 160,160 | TOKITSU MARU      | 159,963 |
| 12 | パナマ    | BRIGHT HARMONY       | 160,226 | PACIFIC GLORY     | 118,230 |

3.4.1 より、室蘭港は鉄鉱石や石炭など、多くのバルク貨物を取り扱っており、輸入だけではなく、移出量も多い事が分かった。船型 20 万 DWT 程度の Capesize 船に対応するため、水深目標を-19.0m程度とし、浚渫工事などを進めている。更に、国際バルク戦略港湾政策に対し、戦略港湾として選定された木更津と連携を図るため、協議を進めている事が明らかになった。

今後も、大型船の導入に向けた、木更津港との連携のための議論が必要である。また、政策では、最終的に船型 40 万 DWT 級の船舶が満載状態で、拠点港に入港可能とする事を目標としている。室蘭港を木更津港からのセカンドポートとして活かしていくためには、現在的水深目標では足りない事が課題として挙げられる。



### 3.4.2 鹿島港

鹿島港は、昭和 38 年に重要港湾(港湾法)に指定された港湾で、鉄鋼、石油科学、飼料コンビナート郡が形成されている産業拠点港湾である。

とうもろこしの輸入量が 283 万トン(2009 年実績値)であり、穀物の国際バルク戦略港湾として選定されている。当該港湾の取扱貨物を品目別に見てみると、鉄鉱石が 17.7%(116 万トン)を占めており、続いて原油 16.7%(110 万トン)、石炭 10.5%(69 万トン)となっている<sup>(28)</sup>。平成 21 年から平成 24 年までの海上出入貨物年次別比較表によると、輸出、輸入、移出、移入の全分野で貨物量が増加傾向にある。

図 2.3-4 に鹿島港の概要を記す。図に示した通り、新日鐵住金株式会社の鹿島製鉄所がある事から、鉄鉱石の取扱量が多い。当該港湾管理者の企画書によれば、室蘭港、和歌山下津港、東播磨港を連携港湾として挙げており、更に戦略港湾相互の連携港湾、つまり、国際バルク戦略港湾として選定されている木更津港との連携も視野に入れている<sup>(29)</sup>。尚、この企画書は国際バルク戦略港湾政策への応募書類であり、実際には穀物のみが国際バルク戦略港湾として選定されている。具体的には、2015 年までに Panamax 船の満載での入港に対応、2020 年までに Post-Panamax 船に対応する事を目標としている。

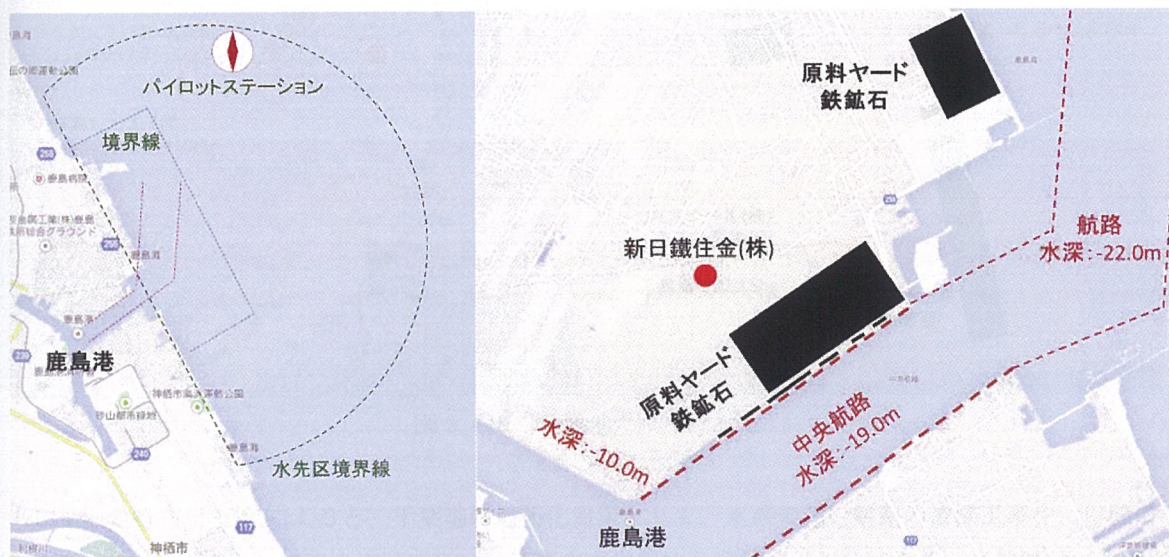


図 2.3-4 鹿島港<sup>(8)(14)(29)</sup>より作成

鹿島港の水深目標を述べたが、2014 年 6 月には船型 40 万 DWT 級の Valemax 船の入港実績がある。このことから、水深面に関しては目標を達していると言える。しかし、Valemax 船が今後普及した場合における、荷役設備や保管場所・能力、そして、具体的な港湾同士の連携を議論する必要があると言える。



### 3.4.3 千葉港

千葉港は、東京湾奥部に位置し、6市にまたがっている。京葉工業地域のほぼ全域に渡る港湾であり、葛南西部地区、葛南中央地区、葛南東部地区、千葉北部地区、千葉中央地区、千葉南部地区、八幡地区、五井地区、姉崎地区、北袖ヶ浦地区、南袖ヶ浦地区の11地区から構成されている。平成24年の年間入港船舶は、外航船4,213隻、内航船48,590隻とされている<sup>(30)</sup>。

全国のパルク貨物取扱量が第2位である。品種別取扱貨物輸出入量<sup>(31)</sup>の輸出入量を見てみると、化学工業品(陶磁器、セメント、石油製品など)が421万トン、鉱産品(石炭、鉄鉱石、原油など)が348万トン、農水産品(米、麦、とうもろこしなど)が20万トンとなっている。鉱産品では、原油(236万トン)、鉄鉱石(60万トン)、石炭(37万トン)の順に多い。

京浜港湾工事株式会社<sup>(32)</sup>では、2010年に千葉港葛南中央地区泊地の浚渫工事を行っており、株式会社大滝工務店の主要工事実績<sup>(33)</sup>によれば、2012年に千葉航路(図3.4-5)の浚渫工事を行っている。



図 3.4-5 千葉港<sup>(8)</sup> <sup>(14)</sup> <sup>(30)</sup>より作成

2014年の新聞記事<sup>(34)</sup>によると、千葉港の老朽化対策として、水深の浅い航路の浚渫工事や、岸壁の補修を進めるとの事だ。航路の浚渫工事は、葛南中央地区の船橋航路が対象である。当航路は、水深が-12.0mあったが、泥などが溜まり、水深が浅くなったため、再浚渫工事を行うとの事である。岸壁の修繕は、中央地区の水深-12.0mの岸壁が対象となっている。上記は、公共岸壁であり、製鉄メーカーや化学メーカーなどはそれぞれ専門の民間岸壁を使用しているが、航路に関しては国や県が行う。本記事による工事は、大規模なため(土量 53.0m<sup>3</sup>)、国が手掛ける事になっている。

写真3.4-1と写真3.4-2は、筆者が実際に千葉港に入港した際に撮影した写真である。写真3.4-1は、JFEスチール株式会社の東日本製鉄所の外観と、実際に船舶が荷役を行っている時の写真である。写真3.4-2は、千葉航路の浚渫工事を行っている様子である。筆者が入港した際には、大型船が接岸し



ている様子は見られなかった。



写真 3. 4-1 JFE スチール株式会社 東日本製鐵所



写真 3. 4-2 千葉航路の浚渫工事の様子

上記のように、千葉港では、浚渫工事や岸壁の補修を進めている。しかし、入港可能とする船舶の目標船型は不明確である。港湾の水深と船舶の必要水深の関係から計算すると、水深-12.0m程度の場合、船型 6 万 DWT 級の Panamax 船が入港可能となる水深である。世界の動向から、今後、Capesize 船や Valemax 船の就航隻数の増加が予測される。政策では、船型 40 万 DWT 級の船舶が拠点港に満載で入港可能にする事を掲げており、千葉港はセカンドポートになる可能性が高い。この事から、大型船の導入にあたり、水深不足が懸念される。



### 3.4.4 川崎港

川崎港は、東京港と横浜港という二大商港に挟まれており、更に京浜工業地帯の中心部に位置している事から取扱貨物が多い。浮島町地区、千鳥地区、東扇島地区、水江町地区の4つの地区から構成されている。昭和時代に臨海部の埋立が進み、石油コンビナート、鉄鋼、造船、化学などの工場が建設され、工業港となった<sup>(35)</sup>。しかし、近年では倉庫が立ち並ぶようになり、商業港として役割を担うようになった。長大型タンカーから小型船まで、様々な船舶が1日平均100隻程度入港しているという<sup>(36)</sup>。図3.4-6に川崎港の概要を示す。



図 3.4-6 川崎港<sup>(8)(14)(36)</sup>より作成

平成22年に実施された総貨物量ランキング(対象港全国175港)では、7位であった。年間輸入量を品目毎に見ると、原油3位(1,775万トン)、石炭9位(650万トン)、鉄鉱石10位(651万トン)であり、完成自動車の年間輸入量は5位(342万トン)であった<sup>(36)</sup>。

また、コンテナ取扱個数も非常に多く、2009年1月から2013年9月までの月別取扱個数推移を見ると、顕著に増加している。特に2012年1月から2013年9月までの伸び率が著しく、2,000TEU強から4,500TEU強まで増加している。この背景には、2012年5月に青島航路、2013年10月に上海航路、2014年3月に深圳ベトナム航路が就航した事が考えられる。

日本随一の収容能力を誇る扇島地区にはJFEスチール株式会社の原料ヤードや工場が多くの割合を占めている。その事からも、鉄鉱石の輸入が多いと考えられる。扇島には、他にも東京電力株式会社の太陽光発電所やTEPCO川崎リサイクルセンター、JX日鉱日石エネルギー株式会社の風力発電所、東亜石油株式会社の貯油施設などがある。

当港の港湾計画は、コンテナターミナルが中心となっているが、岸壁水深の増深や耐震強化岸壁の工事などが考えられている。平成 30 年までの目標として、バルク貨物を取り扱う港湾に関しては、既存埠頭の再編・集約化による、取扱機能の強化を図る事が挙げられている。

川崎港においては、鉄鉱石メーカーの原料ヤードがあり、保管能力に関しては問題がなさそうである。しかし、図 3.4-6 に示した通り、水深が浅い区間が存在するため、大型船が入港可能となるような、大水深化が必要であると言える。



### 3.4.5 名古屋港

名古屋港は、名古屋市、東海市、知多市、弥富市、飛島村にまたがる港湾で、南部地区、内港地区、金城地区、西部地区、ポートアイランド地区の5つの地区から構成されている。図3.4-7に名古屋港の概要を示す。また、港則上では特定港、政令上での指定港湾(旧スーパー中枢港湾)として指定されている。



図 3.4-7 名古屋港<sup>(8) (14) (37) (40)</sup>より作成

港湾統計速報によれば<sup>(38)</sup>、総取扱貨物は12年連続で全国首位である。当港湾は、愛知県にトヨタ自動車株式会社を始めとする、輸出企業が多いため、輸入量だけではなく輸出量が多い事が特徴である。2013年は、外貿コンテナ貨物量で最高記録を更新した。

2014年の統計実績<sup>(39)</sup>を見ると、前述した通り、完成自動車の輸出が最も多く(2,823万トン)、続いて自動車部品(1,001万トン)、産業機械(248万トン)となっている。輸入貨物では、LNG(液化天然ガス)が最も多く(2,353万トン)、続いて鉄鉱石(1,198万トン)、原油(836万トン)となっている。図1で示した通り、当港湾には新日鐵住金株式会社の製鉄所があり、需要が多いと推測出来る。国際バルク戦略港湾政策の穀物の港湾として選定された。

年間の入港船舶は、外航船が8,538隻、内航船25,202隻である(2014年)。

名古屋港の港湾計画方針では、国際海上コンテナターミナルとして機能の拡充及び強化を図る事を目標としている。また、海上輸送全般に関しては、船舶の大型化に対応するため、航路の拡幅及び増深や整備を図るとしている<sup>(40)</sup>。



本研究では、バルク輸送を対象としているので、バルク輸送に関する計画を見ると、以下の4点が基本計画として挙げられている。

- ① バルク船の大型化に対応した機能確保
- ② 民の視点での効率的なターミナル運営
- ③ 大型多目的船に対応した機能確保
- ④ 耐震強化岸壁の確保

また、上述した通り、穀物の国際バルク戦略港湾として選定されている。2015年までに水深-14.0mを確保し、Panamax船の入港を目指している<sup>(40)</sup>。更に、2020年には満載時のPost-Panamax船の入港を目標としている。そして、大型船の利点を活かし、港湾間の連携も視野に入れている。穀物輸送を対象として計画されているが、図3.4-7に示した東航路の浚渫工事を行うので、鉄鉱石輸送に関しても大型船の入港が可能となる。

名古屋港は、もともと船舶の輻湊海域である。更に、穀物の戦略港湾として選定された事と、鉄鉱石の連携港湾に指定されている事から、今後も船舶の入港隻数が増加する可能性が高い。故に、船舶の管制を強化する必要があると言える。また、穀物の戦略港湾として機能するため、サイロの整備などは進めているが、鉄鉱石の連携港湾として、他の港湾との連携方法などは定まっていない事が課題として挙げられる。

### 3.4.6 下津港

和歌山下津港は、和歌山市、海南市、有田市にまたがる港湾であり、和歌山北港区、和歌山本港区、和歌浦・海南港区、下津港区、有田港区の5つの地区から構成されている。図3.4-8に下津港の概要を示す。また、港則法上では特定港に指定されている。

和歌山北港地区(図3.4-8・右)には、新日鐵住金株式会社の和歌山製鉄所、下津港区にはコスモ石油ルブリカンツ株式会社の下津工場製造課、有田港地区には東燃ゼネラル石油株式会社の和歌山工場が控える工業港である。

和歌山県の統計<sup>(41)</sup>によると、2011年の海上出入貨物は原油が最も多かった(807万トン)。鉄鉱石(734万トン)、石油製品(518万トン)と続く。



図3.4-8 和歌山港<sup>(8)(14)(42)</sup>より作成

当港湾に入港した船舶は、2011 年で外航船が 1,250 隻、内航船が 12,856 隻であった。2007 年から 2011 年の入港船舶隻数は減少傾向(17,070 隻から 14,106 隻)にあるものの、総トン数を見ると顕著に増加している(3,965 万トンから 4,287 万トン)。このことから、入港する船舶が大型化している事が分かる。

当港湾では、2007 年から 2008 年に和歌山北港区の北区航路・泊地及び岸壁の浚渫工事を行った<sup>(12)</sup>。水深を-14.0m確保しており、現時点で満載時の Panamax 船の入港が可能であり、喫水調整を行えば Capesize 船の入港も可能となっている。

2009 年から 2012 年までの北港地区岸壁に入港した船舶は、海外からの直接寄港に関しては、平均で年間 3 隻削減出来ており、年間輸送費削減便益は 1.8 億円と算出されている。海外から鹿島港を経由して寄港に関しては、年間で平均 9 隻削減出来ており、年間輸送費削減便益 1.9 億円と算出されている。

この事からも、Capesize 船以上の大型船の寄港回数が増加する事が予測出来る。現段階で、喫水調整を行えば、入港可能であり、木更津港の連携港湾として指定されていることから、下津港はセカンドポートとして機能しそうである。今後は、他の港湾との具体的な連携方法を検討する必要がある。



### 3.4.7 東播磨港

東播磨港は、明石市、加古郡播磨町、加古川市、高砂市にまたがり、東西約 14km に渡る港湾である。伊保港・曾根港・二見港・別府港から構成され、二見地区、播磨地区、別府・加古川・尾上地区、硬さ後地区、荒井・伊保地区の 5 地区に分けられる<sup>(43)</sup>。図 3.4-9 に東播磨港の概要を示す。港則法上では、重要港湾に指定されている。

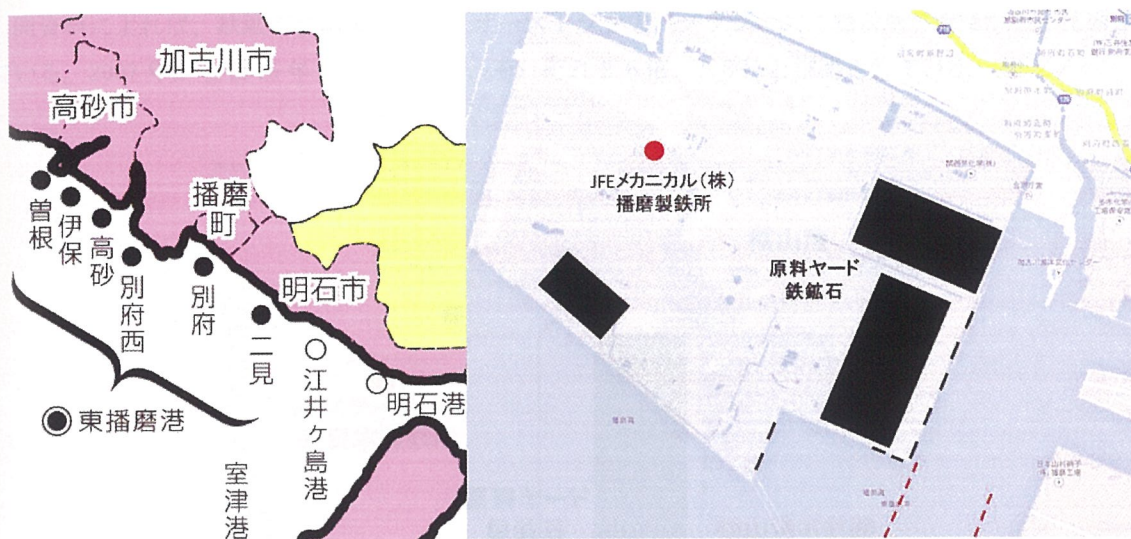


図 3.4-9 東播磨港<sup>(43)</sup>より引用(8)(14)(44)より作成

別府・加古川・尾上地区には、株式会社神戸製鋼所の加古川製鉄所が立地していることから、鉄鉱石や石炭が取り扱われている。

兵庫県の港湾全体の、年における品目別輸入力<sup>(44)</sup>は、鉄鉱石が最も多く(2,070 万トン)、続いて石炭(1,562 万トン)、林産品(37 万トン)と続く。鉱産品の中では、鉄鉱石(1,163 万トン)、石炭(486 万トン)、非金属鉱物(90 万トン)の順に多い。

当港湾の資料によると<sup>(44)(45)</sup>、入港船舶は内航船が 93.0%(14,360 隻)を占めており、外航船は 7.0%(1,156 隻)。2012 年の整備計画では、埠頭整備や物揚場改良(老朽化対策など)を挙げている<sup>(46)</sup>。現状でも、水深-12.0m を有している。港湾の水深と船舶の必要水深の関係から算出すると、約 6 万 DWT 程度の Panamax 船舶の対応が可能である。

現状では、内航船の就航回数が外港船と比較して、非常に多い。しかし、海外からの鉄鉱石輸入量が多いため、日本における東播磨港の位置付けや、外港船に対するための検討を行う必要がある。



### 3.4.8 福山港

福山港は、広島県東部に位置し、箕島地区、箕沖地区、鞆地区の3地区から構成されている。前項で述べた、水島港と共に、鉄鉱石の国際バルク戦略港湾として2011年に選定されている<sup>(25)</sup>。図3.4-10に福山港の概要を示す。

2007年の西日本の製鉄所別粗鋼生産量は、JFEスチール株式会社が最も多く、120万トン強であり、付近には前項の水島港が存在している<sup>(21)(25)</sup>。

同資料によれば、鉄鉱石積出国として、オーストラリア、ブラジル共に輸入量が増加すると見通されている。2007年から2015年までの比率で、それぞれ2.6倍、1.8倍と推測されている。



図3.4-10 福山港<sup>(8)(14)(21)(22)</sup>より作成

福山港本航路(図3.4-10)の水深は-16.0mであるが、2020年までに-18.0mまで増深する計画を立てている。更に、潮位差を利用する事で、鉄鉱石の1隻あたりの積載量は、約17万トン~20万トンまで増加する。現状の目標は、瀬戸内マックス(幅広浅喫水型の船舶で、Capesize船よりも載貨重量トン数が大きい)船の入港させる事である。

大型船の活用により、2015年では約22億円、2020年には約44億円の輸送費削減を見込んでいる(2010年の現状との比較)。

また、地理的優位性を活かし、前項の水島港だけではなく、呉港、徳山下松港、宇部港などとの港湾の連携も視野に入れている。航路及び泊地水深-18.0m、岸壁水深-20.0mを目指し、2020年までの完成を目標としている。

上述した結果から、福山港は非常に鉄鉱石の輸入量が多く、大型船が入港可能となるような水深の整備を進めている事が分かった。更に、他の港湾との連携も視野に入れた検討を行っている。しかし、福山港周辺の航路は航路幅が非常に狭く、船舶が輻湊するため、余裕のある航路幅の計画や管制が必要である。

### 3.4.9 呉港

呉港は、広島湾の東側入口に位置し、呉市、東広島市、竹原市、江田島市にまたがっており、川原石・宝町地区、阿賀マリノボリス地区、広地区の3地区から構成されている<sup>(47)</sup>。呉港の概要を3.4-11に示す。鉄鋼、造船、機械分野で臨海工業地帯として機能し、港則法上でも特定港として、港湾方上では重要港湾として指定されている。



図 3.4-11 呉港<sup>(8)</sup> <sup>(14)</sup> <sup>(48)</sup>より作成

当港湾の2010年における年間取扱貨物量(輸入)<sup>(47)</sup>を見ると、鉄鋼製品が最も多く(615万トン)、続いて林産品(148万トン)、金属機械工業品(11万トン)となっている。

当港には日製鋼株式会社の呉製鉄所(図3.4-11)は、当会社唯一の高炉である。しかし、他港湾と比較した場合、バルク貨物取扱量が少ないため、当港湾は、国際バルク戦略港湾として選定されてはいない。

しかし、前項で述べた水島港や福山港の付近にあるため、港湾の連携は可能である。統計によると、鉄鋼製品の移入は17.0%、移出は11.4%となっている。港湾計画<sup>(48)</sup>を見ても、鉄鋼製品の他、金属類、林産品などを九州や周辺島嶼を結ぶ拠点となっていると記載されており、内貿において重要な役割を果たしていると言える。

呉港は、鉄鋼メーカーが立地する事から、木更津港の連携港湾として挙げられているが、大型船を推進していく上では、水深不足が懸念される。



### 3.4.10 大分港

大分港は、別府湾南部に位置し、港則法上は特定港、港湾法上では重要港湾と指定されている。図 3.4-12 に大分港の概要を示す。当港湾には新日鐵株式会社の大分製鐵所や、他にも金網工場、金属工場などがある。

大分県のバルク貨物の年間輸入量<sup>(49)</sup>は、鉄鉱石(1,538 万トン)、石炭(689 万トン)、原油(499 万トン)の順である。鉄鉱石の輸入相手国は、オーストラリアから 866 万トン、ブラジルから 590 万トン、インドから 17 万トンとなっている。

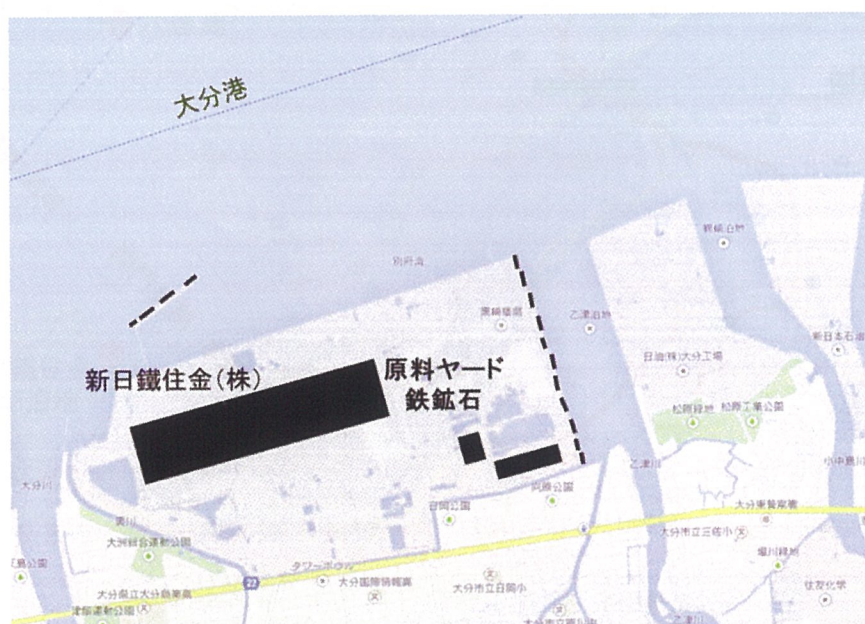


図 3.4-12 大分港<sup>(8)</sup> (37)より作成

当港湾は、国際バルク戦略港湾として選定されていないが、九州で最も深い水深-14.0mのバースが存在しており、大型船の入港が可能となっている。四国の付近の港湾が国際バルク戦略港湾として選定されていることから、当港湾はセカンドポートとしての役割を担うと考えられる。港湾計画としては、水深を-14.0mとする事を目標としている<sup>(49)</sup>。

しかし、2012年6月に、船型40万DWTであるValemax船が日本で初入港した港湾である。また、大型船の就航隻数が増加すると予測されるため、ファーストポートとして機能する可能性がある。

大分港より南にある、佐伯港では、国際物流ターミナルとしてPanamax船が着岸可能であることから、大型船の喫水調整を行う港湾として考えられている。今後の取り組みとして、貨物需要に応じたバルク埠頭計画の見直し、荷役機械の整備、ターミナルの効率的な管理方法の検討などを挙げている。

大水深岸壁を有する大分港は、今後も大型船の導入に対して、重要な港湾となる可能性が高い。そこで、港湾の活用方法や、他の港湾との具体的な連携方法を計画する必要がある。



### 3.4.11 北九州港

九州港は、九州の最北端にある港湾であり、新門司港地区、太刀浦地区、田野浦地区、門司港地区、小倉地区、戸畑地区、響灘地区から構成されている。図 3.4-13 に北九州港の概要を示す。新門司地区や響灘地区にはコンテナターミナル、小倉地区には新日鐵住金株式会社の八幡製鉄所があり、工業郡や物流施設郡などがある<sup>(52)</sup>。



図 3.4-13 関門航路と北九州港<sup>(8) (49) (50) (51)</sup>より作成

2007 年の総取扱貨物量<sup>(51)</sup>は、全国で第 4 位であり、1,143 万トン/年と推計されている。パルク貨物の割合は石炭が最も多く(818 万トン/年)、鉄鉱石(750 万トン/年)、LNG(182 万トン/年)と続いている。輸出量は鋼材(197 万トン/年)、科学薬品(68 万トン/年)、金属製品(50 万トン/年)の順となっている。

る。

港湾計画を見ると、戸畑航路の水深を-17.0mに増深する計画を立てている<sup>(53)</sup>。国際バルク戦略港湾として選定されていないが、寄港船の船型大型化を目指して取り組んでいる。

北九州氏港湾空港局計画課にヒアリング調査したところ、関門航路の大水深化を図る浚渫工事を進めているとの回答であった。下関市、関係団体、民間企業と共に年間1回程度、関門航路整備の水深を国土交通省へ要望活動を実施している。

北九州港は、鉄鉱石以外の貨物の取扱量が多い港湾である。関門海峡は船舶輻湊海域として知られ、1日で約1,000隻の船舶が通航している(年間35万隻)。大型船が九州から、瀬戸内海や関西地方に寄港する際、迂回する場合が多く、物流コストや輸送時間の増加が問題視されており、港湾の整備を国全体で進めている。このように、港湾や航路における水深面での整備は進められているが、他の港湾との連携方法に関して、今後、検討する必要があると言える。



### 3.5 海外の港湾における目標と計画

3.4 節では、日本の港湾における目標と現状に関して述べたが、3.5 節では、世界の港湾や資源メジャーの動向に関して述べる。表 3.5-1 は、世界的な鉄鉱石の輸出入の動向を纏めたものである。輸入国における需要や輸出入港における港湾投資や計画について記述した。

表 3.5-1 世界的な鉄鉱石の輸出入における動向<sup>(54) (55) (56) (57) より作成</sup>

|       |                |   |
|-------|----------------|---|
| 鉄鉱石需要 | 中国             | 輸入量の半数を占めている  |
|       | インド            | インフラ整備の加速や都市化の進展により増加が見込まれる   |
| 投資と計画 | メジャー           | ヴァーレ、リオ・ティント、BHPビルトンが全体の7割を占め、寡占状態  |
|       | ブラジル<br>(ヴァーレ) | 40万DWT級のVLCCを大量建造している<br>マレー半島西側に鉄鉱石保管・供給基地を作り、ブラジルとのピストン輸送を行う構想を進めている<br>ポンタ・デ・マデイラ港、ツパロン港では40万DWT級の船型に対応する為、-23.0m級のバース整備が進められている |
|       | 中国             | 水深-23.0mを超える大水深バースを地域ブロック毎に配置している<br>バースは大水深の輸入用バースと国内移出用バースを有している<br>揚子江流域や他の沿岸地域にフィーダー輸送を行っている                                    |
|       | 韓国(光陽港)        | 光陽港では30万DWT級の船型に対応可能なバースが整備中<br>更に、35万DWTに級の船型に対応可能なバースを計画中   |
|       | 韓国(浦項港)        | 2港揚げ用のバースも2バース整備中<br>25万DWT級の船型が満載で入港可能   |

世界で鉄鉱石の輸入量を比較すると、中国がその大半を占めている。中国やインドなどは経済の発展がその背景にある。

中国は鉄鉱石を埋蔵しているが、良質ではないため、その殆どを輸入に依存している。そんな中国は、大水深岸壁を有する港湾が多く、鉄鉱石や資源などの港湾は環渤海地域の開発が進んでいる。鉄鉱石 10 大港湾は、日照港、青島港、唐山港、寧波港一舟山港、天津港、連雲港、上海港、營口港、湛江港、北部湾が挙げられる<sup>(54)</sup>。それらの港湾では、Companhia Vale do Rio Doce S.A. の運航している船型 40 万 DWT 級の Valemax 船の入港が可能となるような港湾整備を目指している。しかし、その一方で、製鉄メーカーの乱立や在庫過剰といった問題も掲げている<sup>(55) (56)</sup>。

海外の港湾では、鉄鉱石輸送の中継基地の建設も行っている。Companhia Vale do Rio Doce S.A. は、フィリピンのスービック、マレーシアのペラ州、オマーンのスハールにペレットプラントなどを行っている。アジアでは Valemax 船を接岸出来る港湾が中国と大分港以外にないため、先述した基地を洋上配送センターとして稼働させる事を目的としている<sup>(57)</sup>。

オーストラリアは石炭や鉄鉱石を多く産出しており、資源メジャーも多く存在している。それに伴い、開発を進めているが、港湾や鉄道などのインフラ整備が遅れている事が問題視されている。その影響で、船舶の待ち時間や滞船隻数などが度々問題となっている。これは、輸出力に対し、接岸可能な船舶の隻数や荷揚げ量などが少ない事が原因として考えられる。

ブラジルは全港湾中、約 64.0%は専門ターミナルであり、そのうち取扱量(重量ベース)の約 47%は鉄鉱石である。第 1 章でも述べたが、資源メジャーである Companhia Vale do Rio Doce S.A. が大型船の

運航を進めている。船型 40 万 DWT 級の Valemax 船を 35 隻運航する計画があり、そのうち 12 隻を中国で建造する予定である。ブラジルは大水深岸壁を有する港湾が多いが、水深や港湾の整備だけではなく、鉄道などのインフラ整備も進めている。鉄鉱石資源は内陸に賦存しているため、長距離鉄道の建設及び施設が必要となる。そこで、ブラジル資源関連企業と鉄道会社が共に開発を進めている。

### 3.6 国際バルク戦略港湾政策の課題

3.6 節では、3.4 節及び 3.5 節で纏めた現状における課題を整理し、国際バルク戦略港湾政策の課題を述べる。

3.4 節では、日本の鉄鉱石を輸入している代表的な港湾に関して述べた。各港湾の目標などを見ると、木更津港、鹿島港、大分港に関しては、水深面の目標は既に達成しており、船型 40 万 DWT 級の Valemax 船の入港実績がある。しかし、他の港湾に関しては、目標はあるものの、達成出来ていない港湾がある。入港可能となるような船舶の目標が不明な港湾がある。

各港湾や政策においては、2015 年までに Capesize 船、2020 年までに VLCC 船、最終的には運航される最大級の船型が満載状態で入港可能となるようにしている(対象貨物が鉄鉱石の場合)。それに向け、港湾の目標水深は、2015 年までに-19m 程度、2020 年までには-23m としている。しかし、世界最大級の船舶である Valemax 船などの大型船を用いた場合に、本当にコスト削減に繋がるのか、港湾整備などの費用対効果などは、定量的に分析されていない。

更に、それらの港湾は、船舶が輻湊する地域に立地しているものが多く、大型船を入港させるためには、船舶が輻湊する航路や湾内を航行する必要がある。また、航路幅の狭い航路では航路外で待機をするような航路や、潮汐を利用しないと安全な余裕水深を有せないため、高潮待ちをする事になる。また、1 隻あたりの貨物量が増加するため、水深だけではなく、荷役機械の整備も必要である。

3.5 節では海外の主要港湾の計画に関して纏めた。資源メジャーと連携した計画を進めている港湾や、船型 40 万 DWT 級の大型船の対応を目指した港湾が見られた。また、鉄鉱石の中継基地として、近年は、拠点を東南アジアに設定した計画が多く見られる。中国やインドなどで鉄鉱石の需要量が今後も増加する事が、その背景として考えられる。

表 3.6-1 は、国際バルク戦略港湾政策の現状や方策などを纏めたものである。具体的に入港させたい船舶の船型や港湾水深の目安などは設定されている。また、方策として企業の連携などが掲げられている。

しかし、政府の掲げている「輸入コスト」や「国際競争力」の定義が不明確であり、どの程度の物流コストの削減を目指しているのか、戦略港湾の国際的な立ち位置や目標が不明瞭である。また、具体的な荷役機械や保管施設の整備目標の目安なども定まっていない事が問題として挙げられる。

また、鉄鉱石の輸出入は、現在はオーストラリアー日本、ブラジルー日本が大半を占めているが、将来的に変化し、輸送形態にも影響を与える可能性が少なからずある事を念頭に置く必要がある。



表 3. 6-1 国際バルク戦略港湾政策(鉄鉱石)の目標と方策<sup>(2) (5) (6) (7) (8) より作成</sup>

|               |                |   |
|---------------|----------------|---|
| 現状            |                | 各鉄鋼メーカーが輸送船舶を手配し、ばらばらに鉄鉱石輸入をする形態が一般的<br>水深は-16.0～18.0m程度であり、現在主流であるCapesize船が満載で入港出来ない場合が多い<br>30万DWT超級の船型が着岸可能な水深-23.0mが確保されているのは大分港のみ<br>夜間入港の制限による時間ロスが発生している                            |
| 国際バルク<br>戦略港湾 | 目指すべき姿         | 一次消費地への近接性等の地理的優位性や物流コストの削減効果、<br>背後地域の需要量等に鑑みる拠点的な機能を担う地域に配置する   |
|               | 目標             | 当該港湾の需要に対応するだけでなく、他港に入港可能となるような喫水調整機能を担う港湾である事<br>30万DWT級の船型が満載で入港可能な機能(航路、泊地、荷役機械、保管ヤードなど)を確保する<br>24時間荷役が可能な体制を整える<br>2港目の港湾は減載した大型船舶が安全に入港する事が可能となる機能と<br>Capesize級の船舶が満載で入港するための機能を確保する |
| 投資と計画         | 2015年          | 満載時のCapesize級の船型に対応するため、-19.0m程度の水深を有する港湾   |
|               | 2020年          | VLOC級の船型に対応するため、-23.0m程度の水深を有する港湾   |
| 実現の<br>ための方策  | 企業連携の<br>促進    | 複数企業によるターミナルの一体化・共同利用<br>異なる企業間での輸送船舶の共同配船<br>小口荷主等への内航フィーダー輸送  |
|               | 港湾機能の<br>拠点的確保 | 最大級の輸送船舶への対応<br>国際バルク戦略港湾政策の効果を最大限に発揮させるための措置：泊地・航路の確保や航行支援<br>荷役機械、荷捌き施設、保管施設の大型化・高機能化支援<br>「民」の視点での効率的な運営体制の確立<br>効率改善のための制限緩和：安全航海のための情報提供や夜間入港を可能とさせる措置                                 |

そこで、船型を大型化させた場合に削減可能な物流コストを明らかにし、目標とすべき船型を明らかにし、浚渫工事や保管施設などの目安を明らかにする。更に、大型船の導入をどの港湾間で進めていくべきか検討する必要がある。また、他のパラメータが変化した場合に与える影響などを把握し、今後、産出国や輸送量に変化した場合に対応出来るようにする事が課題として挙げられる。

### 3.7 第3章に関する参考文献

- (1) 澤田賢治(独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構)：金属資源レポート「資源と経済(2) 資源保有国と製錬原料の輸出」，2012.07
- (2) 国土交通省：資源・エネルギー・食糧等の安定的かつ安価な輸入の実現に向けた効率的な海上輸送網の形成，  
<[http://www.mlit.go.jp/kowan/kowan\\_tk1\\_000033.html](http://www.mlit.go.jp/kowan/kowan_tk1_000033.html)>，最終アクセス 2015.07.01
- (3) 共同海運水産ニュース：ばら積み貨物を共同輸送，第13206号，2013.02.12
- (4) 日本経済新聞：エネルギー・穀物輸入、10港に集中 コスト4割削減，2014.10.12，  
<[http://www.nikkei.com/article/DGXLASFS11H0R\\_R11C14A0MM8000/](http://www.nikkei.com/article/DGXLASFS11H0R_R11C14A0MM8000/)>，  
最終アクセス 2015.07.01
- (5) 国土交通省：平成27年度 港湾局関係 予算概算要求概要，2014.08
- (6) 国土交通省：国際バルク戦略港湾選定基準<鉄鉱石>，添付資料-2②
- (7) 国土交通省：国際バルク戦略港湾の選定結果について，別紙
- (8) Google Inc.：Google Maps，<<https://www.google.co.jp/maps/>>，最終アクセス 2015.07.03
- (9) 東京湾海上交通センター：東京湾の交通ルール，  
<[http://www6.kaiho.mlit.go.jp/tokyowan/others/tokyo\\_guide/rule/page1.htm](http://www6.kaiho.mlit.go.jp/tokyowan/others/tokyo_guide/rule/page1.htm)>，  
最終アクセス 2015.07.13
- (10) 国土交通省関東地方整備局東京湾口航路事務所：数字で見る東京湾，  
<[http://www.pa.ktr.mlit.go.jp/wankou/toukyou\\_wankoukouro/suujidemiru.htm](http://www.pa.ktr.mlit.go.jp/wankou/toukyou_wankoukouro/suujidemiru.htm)>，最終アクセス 2014.06.03
- (11) 国土交通省関東地方整備局東京湾口航路事務所：東京湾の開発保全航路，  
<[http://www.pa.ktr.mlit.go.jp/wankou/toukyou\\_wankoukouro/t\\_kaihatuhozen.htm](http://www.pa.ktr.mlit.go.jp/wankou/toukyou_wankoukouro/t_kaihatuhozen.htm)>，  
最終アクセス 2014.06.03
- (12) 県土整備部港湾課企画班：千葉県「木更津港港湾計画」，  
<<http://www.pref.chiba.lg.jp/kouwan/kisarazu-kaitei.html>>，最終アクセス 2014.06.03
- (13) 県土整備部港湾課港湾振興室：千葉県「木更津港」，  
<<http://www.pref.chiba.lg.jp/kouwan/chibanokouwan/kisarazu.html>>，  
最終アクセス 2014.06.03
- (14) 日本水先人会連合会：各地の水先人会，  
<<http://www.pilot.or.jp/districts/guide/guide23.html>>，最終アクセス 2014.06.01
- (15) 千葉県：国際バルク戦略港湾政策に向けた計画書(公表資料)，2012.01.28
- (16) 朝日新聞：国際バルク戦略港湾の木更津港、室蘭も連携港に想定，2012.06.09
- (17) 備讃瀬戸海上交通センター：交通ガイド，  
<<http://www6.kaiho.mlit.go.jp/bisan/succor/kouhou/index.htm>>，  
最終アクセス 2015.07.13

- (18) 来島海峡海上交通センター：来島海峡通航ガイド,  
〈<http://www6.kaiho.mlit.go.jp/kurushima/succor/guide/index.html>〉,  
最終アクセス 2014.06.03
- (19) 水島港湾管理者岡山県：国際バルク戦略港湾の選定に向けた計画書の概要,  
pp2-15, 2012.02.03
- (20) JHTA 日本港運協会：統計データ「平成 24 年度港湾統計」,  
〈[http://www.jhta.or.jp/statistics\\_data.html](http://www.jhta.or.jp/statistics_data.html)〉, 最終アクセス 2014.06.05
- (21) 広島県：福山港国際バルク戦略港湾計画書(公表資料), pp2-12, 2011.01
- (22) 岡山県：ハイパー&グリーン・イノベーション水島コンビナート総合特区「申請書概要版」,  
pp4, 2011.09.28
- (23) 岡山県港湾課：水島港の概要, 〈<http://www.pref.okayama.jp/page/detail-43085.html>〉,  
最終アクセス 2014.06.05
- (24) 交通政策審議会第 49 会港湾分科会：水島港港湾計画一部変更(水島地区), pp2-8, 2012.07.05
- (25) 国土交通省中国地方整備局：競争力のある港づくり福山港,  
〈<http://www.pa.cgr.mlit.go.jp/hiroshima/kyosoryoku/fukuyamako.html>〉,  
最終アクセス 2014.06.05
- (26) 室蘭市港湾部：室蘭港統計年報, 2011
- (27) 室蘭港湾管理者室蘭市：国際バルク戦略港湾の選定に向けた計画書(公表用資料),  
pp1-6, 2011.05.31
- (28) 鹿島港湾事務所：鹿島港要覧,  
〈<http://www.pref.ibaraki.jp/bukyoku/doboku/01class/class29/>〉,  
最終アクセス 2014.06.01
- (29) 鹿島港港湾管理者茨城県：東日本の国際バルク拠点港としての新たな飛翔, pp2-17,  
2010.11.19
- (30) 千葉県：千葉港, 〈<http://www.pref.chiba.lg.jp/kouwan/chibanokouwan/chiba/>〉, 最終ア  
クセス 2014.06.03
- (31) 県土整備部港湾課港湾振興室：千葉県「平成 24 年千葉県港湾統計年報」,  
〈<http://www.pref.chiba.lg.jp/kouwan/toukeidata/kouwan/h24-nenpou/index.html>〉,  
最終アクセス 2014.06.03
- (32) 京浜港湾工事株式会社：工事実績, 〈<http://www.keihinkowan.co.jp/kouzizisseki.html>〉, 最  
終アクセス 2014.06.01
- (33) 株式会社大滝工務店：主要工事実績, 〈<http://www.otaki-komuten.com/results.html>〉,  
最終アクセス 2014.06.01
- (34) 日本経済新聞：千葉港、老朽化で大改修 船橋で航路再浚渫, 2014.05.27,  
〈<http://www.nikkei.com/article/DGXNZ071816890W4A520C1L71000/>〉,  
最終アクセス 2014.06.03
- (35) 国土交通省関東地方整備局京浜港事務所：横浜本牧地区 2009 年 1 月現在, みなとけいひん,  
vol.33, pp1-2, 2009.01



- (36) 国土交通省関東整備局京浜港湾事務所：川崎港，  
〈<http://www.pa.ktr.mlit.go.jp/keihin/function/kawasaki.html>〉，  
最終アクセス 2014.06.03
- (37) 高橋直宏・竹村信治：NILIM-AIS によるバルク船入港時の喫水実態に関する分析，国土技術政策  
総合研究所，No.588，pp14，2010.03
- (38) 株式会社ロジスティクスパートナー：名古屋港/2013 年の総取扱貨物量、12 年連続全国 1 位，  
LNEWS，〈<http://lnews.jp/2014/03/g032512.html>〉，最終アクセス 2014.06.03
- (39) 名古屋港湾管理組合：名古屋港のホームページ「データで見る名古屋港 平成 24 年港湾統計実  
績」，〈<http://www.port-of-nagoya.jp/topics/data/index.html>〉，  
最終アクセス 2014.06.03
- (40) 名古屋管理組合：名古屋港国際バルク戦略港湾(穀物)計画書平成 23 年，pp4-17，2014.03
- (41) 企画部企画政策局調査統計課：和歌山県「和歌山件統計年鑑」，  
〈<http://www.pref.wakayama.lg.jp/prefg/020300/nenkan/index.html>〉，  
最終アクセス 2014.06.04
- (42) 近畿地方整備局事業評価監視委員会：和歌山下津港北港地区航路・泊地整備事業【事後評価】，  
pp3-9，2013.01
- (43) 兵庫県：東播磨港について，  
〈[https://web.pref.hyogo.lg.jp/eh04/eh04\\_2\\_000000004.html](https://web.pref.hyogo.lg.jp/eh04/eh04_2_000000004.html)〉，最終アクセス 2014.06.03
- (44) 兵庫県：兵庫県港湾統計年報（平成 24 年），  
〈[https://web.pref.hyogo.lg.jp/ks17/kouwan\\_ar\\_h24.html](https://web.pref.hyogo.lg.jp/ks17/kouwan_ar_h24.html)〉，最終アクセス 2014.06.04
- (45) 東播磨県民局加古川土木事務所：東播磨港の港勢(平成 21 年利用状況)，pp1，2011.06.14
- (46) 東播磨県民局加古川土木事務所：港湾・海岸事業について，pp13-15，2013.07.16
- (47) 呉港：呉港の統計(2012 年)，  
〈<http://www.city.kure.hiroshima.jp/~kureport/toukei2012/toukei2012.html>〉，  
最終アクセス 2014.06.05
- (48) 呉港：呉港港湾計画，〈<http://www.city.kure.hiroshima.jp/~kureport/plan.html>〉，  
最終アクセス 2014.06.05
- (49) 九州地方整備局：事業評価監視委員会「平成 22 年度第 4 回関門航路開発保全航路整備事業③  
再評価実施後 3 年経過した事業」，pp7，2010
- (50) 関門水先区水先人会：エリア&パイロットステーション，  
〈<http://www.kanmon-pilot.jp/area.html>〉，最終アクセス 2014.06.03
- (51) 北九州市港湾空港局：北九州港長期構想，pp8-9，2011.05
- (52) 北九州港：北九州の概要，〈<http://www.kitaqport.or.jp/jap/outline/index.html>〉，  
最終アクセス 2014.06.05
- (53) 北九州港湾管理者北九州市：北九州港港湾計画書，pp16，2011.12
- (54) 三浦良雄(元川崎汽船株式会社理事)：中国環渤海地域における港湾整備の現状と課題，中国港  
湾物流研究会，ERINA REPORT，No.108，2012.11

- (55) 独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(株式会社三菱総合研究所)：豪州における石炭開発動向とインフラ整備状況の調査，海外炭開発高度化等調査，2011.02
- (56) 山口晋一・藤井武志・山本範人・野村勉：グレートキルンペレタイジングプロセス，KOBEL STEEL ENGINEERING REPORTS, Vol. 60, No. 1, 2014.04
- (57) 山本雅之(日伯鉄鉱石株式会社代表取締役社長)：ブラジル鉄鉱石権益所得による資源確保，JOI, 2012.11
- (58) 独立行政法人日本貿易振興機構海外調査部中南米課：中南米諸国における港湾整備の現状と見通し，2014.07
- (59) 国土交通省中国地方整備局広島港湾空港整備事務所：競争力のある港づくり呉港，  
<<https://www.pa.cgr.mlit.go.jp/hiroshima/kyosoryoku/kureko.html>>，  
最終アクセス 2014.06.03
- (60) 県土整備部港湾課港湾振興室：千葉県「平成24年千葉県港湾統計年報」  
<<http://www.pref.chiba.lg.jp/kouwan/toukeidata/kouwan/h24-nenpou/index.html>>，  
最終アクセス 2014.06.03
- (61) 国土交通省港湾局：国際バルク戦略港湾(穀物)について，pp3-pp4，2014.03
- (62) 川崎市：川崎港港湾計画の改訂素案について，  
<<http://www.city.kawasaki.jp/templates/pubcom/580/0000053878.html>>，  
最終アクセス 2014.06.03
- (63) 公益財団法人矢野恒太記念会編集：日本国勢図会，第72版，2014.06.01
- (64) 国土交通省港湾局：輸入貨物品種別仕出国別表「平成24年分流動調査」，pp159

## 第4章 国際海上輸送におけるCO<sub>2</sub>排出量の削減に関する政策と課題

### 4.1 IMOにおける政策

#### 4.1.1 CO<sub>2</sub>排出規制に関する政策

1997年、第三回気候変動枠組条約締約国会議で気候変動に関する国際連合枠組条約の京都議定書(通称:京都議定書)が採択された。京都議定書では、温室効果ガスの一種であるCO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>やN<sub>2</sub>Oなどを削減するため、1990年を基準として各国毎で削減目標値を設定した。オーストリア、ベルギー、ブルガリア、チェコ、デンマーク、エストニア、フィンランド、フランス、ドイツ、ギリシア、アイルランド、イタリア、ラトビア、リヒテンシュタイン、リトアニア、ルクセンブルク、モナコ、オランダ、ポルトガル、ルーマニア、スロバキア、スロベニア、スペイン、スウェーデン、スイス、イギリスは-8.0%、アメリカ合衆国は-7.0%、カナダ、ハンガリー、日本、ポーランドは-6.0%、クロアチアは-5.0%、ニュージーランド、ロシア、ウクライナは±0.0%、ノルウェーは+1.0%、オーストラリアは+8.0%、アイルランドは+10.0%を削減目安とした。参考文献(1)によれば、日本の目標値-6.0%であるが、2008年から2012年までの5年間で平均-8.4%を達成している。

目標を達成するための対策として、省エネルギー対策の徹底や自動車の燃費改善などが挙げられる。これらの対策を促進させるため、排出権取引(排出量取引:Emissions Trading)が存在する。これは、排出規定値を超えてしまった国や企業が、規定値以下のところから排出権を購入する事が出来る。

この京都議定書では、国毎で削減規定値を定めているが、国際海運からの温室効果ガスの削減に関して議論されていない。国毎に規定値を定める事が困難なためである。

しかし、世界経済の発展とともに、国際海運の需要は増加している。国際海運からのCO<sub>2</sub>排出量は2050年には1990年の排出量の6倍になると予測されている。このように、年々排出量が増加している事が問題となっており、IMOでは対策を講じた。

日本は経済大国であり、海運や造船が世界的にトップクラスである。参考文献(2)によれば、船腹量(実質船主国)は世界第一位、建造量は世界第三である。この事から、我が国は国際海運からのCO<sub>2</sub>排出量削減のための条約を主導している。

第1章でも述べたが、IMOは国際海運からのCO<sub>2</sub>排出量を削減するため、2013年にMAPOL条約附属書VIが改正された。IMOは、技術的手法、運航的手法、経済的手法からCO<sub>2</sub>排出量の削減を試みている。経済的手法は技術的手法及び運航的手法を促すためのものである。これらの規制により、対策を講じない場合と比較し、2030年には20.0%、2050年には35.0%のCO<sub>2</sub>排出量削減が期待されている。それぞれの手法について、詳細は次節で述べる。



#### 4.1.2 技術的手法

技術的手法は2013年1月1日以降に建造契約が結ばれる、400GT以上の新造船であり、且つ、国際航海を行う船舶を対象としている。船種は、一般バルク船、タンカー、コンテナ船、一般貨物船、冷凍船である。該当する船舶は、図4.1-1式(1)に示した、EEDI(Energy Efficiency Design Index:エネルギー効率設計指標)から排出量を算出する事が義務付けられており、建造契約年に応じた基準値が設定されている。図4.1-1式(2)のAttained EEDIは自船のEEDI、Required EEDIは船種毎のEEDI規制値である。載貨重量DWTの指数関数として表させるEEDI平均線であるReference Lineに一定の削減率を考慮した値がRequired EEDIである。この排出量は、1トンの貨物を1NM運ぶ際に排出されるCO<sub>2</sub>排出量をグラム数として定義されている。基準値は、建造契約だけではなく、船種、船型(サイズ)によって要件が異なっている。この算出した値を設定値よりも低くする事が必要となる。

$$EEDI(g/ton mile) = \frac{CO_2 \text{換算係数} \times \text{燃料消費率}(g/kWh) \times \text{機関出力}(kW)}{DWT(ton) \times \text{速力}(mile/h)} \quad \text{式(1)}$$

$$Attained EEDI \leq Required EEDI = Reference Line(a \times DWT^{-c}) \times \left(1 - \frac{X}{100}\right) \quad \text{式(2)}$$

図 4.1-1 EEDI (エネルギー効率設計指標) (2)より引用

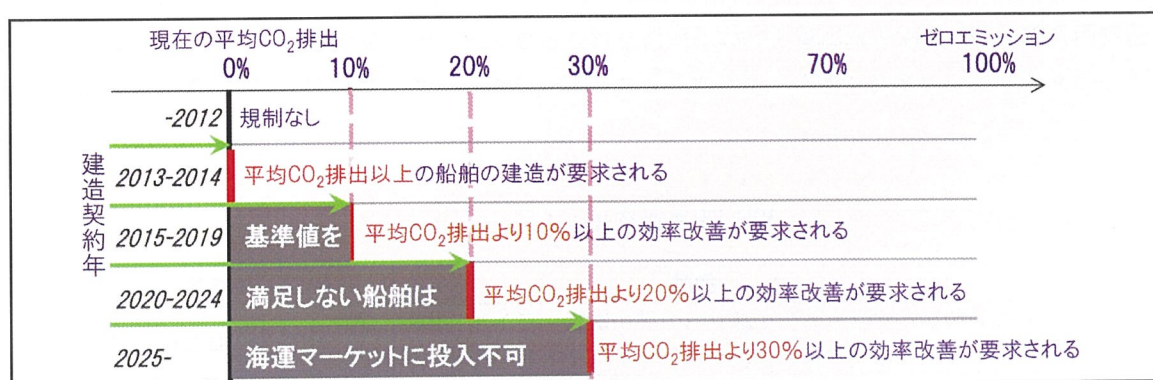


図 4.1-2 建造契約年に応じた CO<sub>2</sub> 排出量基準値 (3)より引用

この技術的手法による CO<sub>2</sub> 排出量の削減は、抵抗を軽減するような船舶の造船計画やエネルギー効率の良いエンジンの研究などが具体的に行われている。

### 4.1.3 運航的手法

運航的手法は SEEMP (Ship Energy Efficiency Management Plan : 二酸化炭素放出抑制手引書) と EEOI (Energy Efficiency Operational Index : エネルギー効率運航指標) がある。EEDI 及び EEOI は CO<sub>2</sub> 排出量を算出するものである (図 4.1-3 : 式 1)。SEEMP は各海運会社における運航計画書であり、保持が義務付けられている。

$$EEOI(\text{g/ton mile}) = \frac{\text{CO}_2 \text{換算係数} \times \text{燃料消費量}(\text{g})}{\text{実貨物重量}(\text{ton}) \times \text{実航行距離}(\text{mile})} \quad \text{式(1)}$$

$$EEOI = \frac{\sum_j FC_j \times C_{Fj}}{m_{\text{cargo}} \times D} \quad \text{式(2)}$$

$$EEOI = \frac{\sum_i \sum_j (FC_{ij} \times C_{Fij})}{\sum_i (m_{\text{cargo},i} \times D_i)} \quad \text{式(3)}$$

図 4.1-3 エネルギー効率運航指標<sup>(2)</sup>より引用

算出した EEOI をモニタリングし、算定期間毎の値の推移を観察する事になる。図 4.1-3 式(2)は航海毎の算出式、図 4.1-3 式(3)は複数以上の航海を含む算定期間における算出式である。FC は燃料消費量、 $m_{\text{cargo}}$  は輸送貨物量、D は航海距離を表している。算出するにあたり、考慮する項目などは表 4.1-1 から表 4.1-3 に示す。

表 4.1-1 EEOI の計算要素<sup>(2)</sup>より引用

| 項目    | 説明   |
|-------|--|
| 燃料消費量 | 主機、補機、ボイラ、焼却炉等により船上で算定期間内に消費された全燃料量。単位にはメトリック・トン(t)を用いる。 |
| 航行距離  | 算定期間内に実際に航行した距離。単位には海里(mile)を用いる。                        |
| 輸送貨物量 | 算定期間内に輸送した貨物量。単位については下表を参照。                              |

表 4.1-2 CO<sub>2</sub> 換算係数<sup>(2)</sup>より引用

| 燃料の種類       | ISO 規格 (参考)      | 炭素含有量 | C <sub>F</sub> (t-CO <sub>2</sub> /t-燃料) |
|-------------|------------------|-------|--|
| ディーゼル/ガスオイル | ISO 8217 DMX~DMC | 0.875 | 3.206000                                 |
| 軽質燃料油 (LFO) | ISO 8217 RMA~RMD | 0.86  | 3.151040                                 |
| 重質燃料油 (HFO) | ISO 8217 RME~RMK | 0.85  | 3.114400                                 |
| LPG (プロパン)  | -                | 0.819 | 3.000000                                 |
| LPG (ブタン)   | -                | 0.827 | 3.030000                                 |
| LNG         | -                | 0.75  | 2.750000                                 |

表 4. 1-3 EEOI 計算に用いる輸送貨物<sup>(2)</sup>より引用

| 船舶の種類                                     | 貨物量単位  |
|---|--|
| 乾貨物船, 液体タンカー, ガスタンカー,<br>Ro-Ro 貨物船, 一般貨物船 | 貨物重量 (t)   |
| コンテナ船 (コンテナ専用)                            | コンテナ個数 (TEU) または<br>貨物とコンテナの重量 (t)                 |
| コンテナ船 (他の貨物と混載)                           | 実入りコンテナを 10t, 空コンテナを 2t とし,<br>その他の貨物重量と合算した重量 (t) |
| 客船 (Ro-Ro 客船含む)                           | 乗客数または総トン数   |
| カーフェリー, 自動車運搬船                            | カーユニット数または占有レーン長 (m)                               |
| 鉄道/Ro-Ro 船                                | 鉄道車両/貨物車両数または占有レーン長 (m)                            |

EEOI 計算値、積載率や複数航海毎の EEDI 移動平均率などをプロットする事により、EEOI の傾向把握し易くなる。この結果から、効率的な燃料消費や積載率を考慮して、航海計画を立案する。また、EEOI の計算や分析をするガイドラインやシステムを開発している。



#### 4.1.4 経済的手法

経済的手法は、先述した技術的手法及び運航的手法を促進させるためのインセンティブである。技術的手法及び運航的手法が2013年に施行されたが、経済的手法は国際的に議論段階である。両者2手法は義務であるが、奨励や誘発などは生じないことから、経済的手法が提案された。

大きく分けて、効率改善奨励制度と総量規制制度がある。前者は、国際海運自体のCO<sub>2</sub>排出量の削減を目指す制度である。後者は、CO<sub>2</sub>クレジットの購入など、オフセットによる目標達成を目指すものであり、他セクターによるCO<sub>2</sub>排出量の削減に寄与するものである。

具体的には、デンマーク、キプロス、ナイジェリアや韓国などがGHG Fund、ノルウェー、ドイツ、フランスやイギリスなどがETS(Emission Trading Scheme)を提案している<sup>(4)</sup>。

GHG Fundは、船舶で用いられる燃料1トン当たり一定額の課金を徴収するものである。これを資源に、国際基金を設立し、新興国の有する船舶の効率改善などの研究開発に拠出する。この課金の金額は、排出目標によって定まる。

ETSは、国際海運における総排出量の上限を定め、上限内の範囲で排出権をオークションで取得する。各船は、一定期間毎に自船の排出量に相当する排出権の保有が義務付けられる。このオークションによる利益は、GHG Fundと同様、新興国の研究開発に活用される(図4.1-4)。

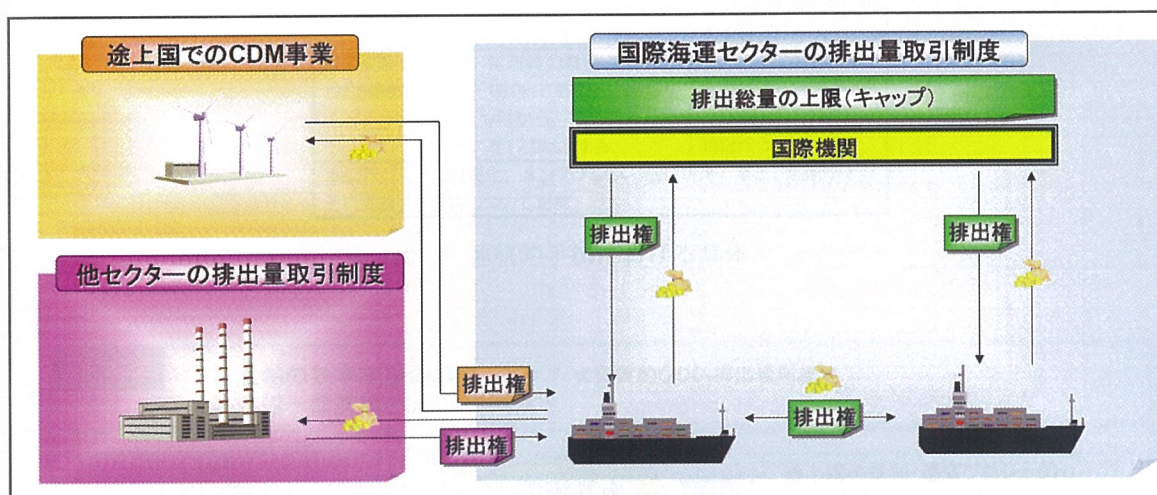


図4.1-4 Emission Trading Scheme<sup>(5)</sup>より引用

## 4.2 日本における具体的な取り組み

日本政府は国際バルク戦略港湾政策を策定した。当該政策では、物流コストを削減するための政策であるが、CO<sub>2</sub>排出量の削減に関しても言及している。

第1章に記載したが、技術的手法においては、様々な研究機関や会社などで船体やエンジンの開発が進んでいる。

その一方で、SEEMPにおいては、ウェザールーティング、船体のメンテナンス(船体洗浄による推進抵抗の軽減)や減速航海が挙げられるが、具体的な手法はそれ以外には挙げられていない(図4.2-1)。

日本での経済的手法は、EIS(Efficiency Incentive Scheme)が提案されている。これは、船舶で使用する燃料1トンに対し、一定額の課金を徴収するものである。他国の掲げている、GHG FundやETSと同様、徴収した課金を資源に、国際基金を設立し、新興国の開発に寄与する。また、各船のEEDIを評価し、優良な船舶の課金額を減免する事で推進を図る。このように、議論段階ではあるが、国際的にも、日本でも様々な提案がされている。

| 効率改善措置   | 実施方法(開始日含む)   | 責任者、実施体制                                     |
|--|---|--|
| ウェザールーティング(潮流、風波を考慮した最適ルートを選択)                 | サービス提供会社xxxとウェザールーティングシステムの運用契約をし、2012年y月z日から試行を開始する。 | サービス提供会社からの情報に基づき最適なルートを選択することについて船長が責任を有する。 |
| 速力最適化(減速運航)                                    | 新造時の計画速力は、19.0ktであるが、2012年y月から、最大運航速力を17.0ktとする。      | 速力維持は船長が責任を有する。ログブック(航海日誌)の確認は毎日行う。          |
| ※以下、トリム最適化、メンテナンス(船体洗浄)など、船舶がそれぞれ実施する措置について記載。 |   |  |

図4.2-1 運航的手法における具体策<sup>(1)</sup>より引用

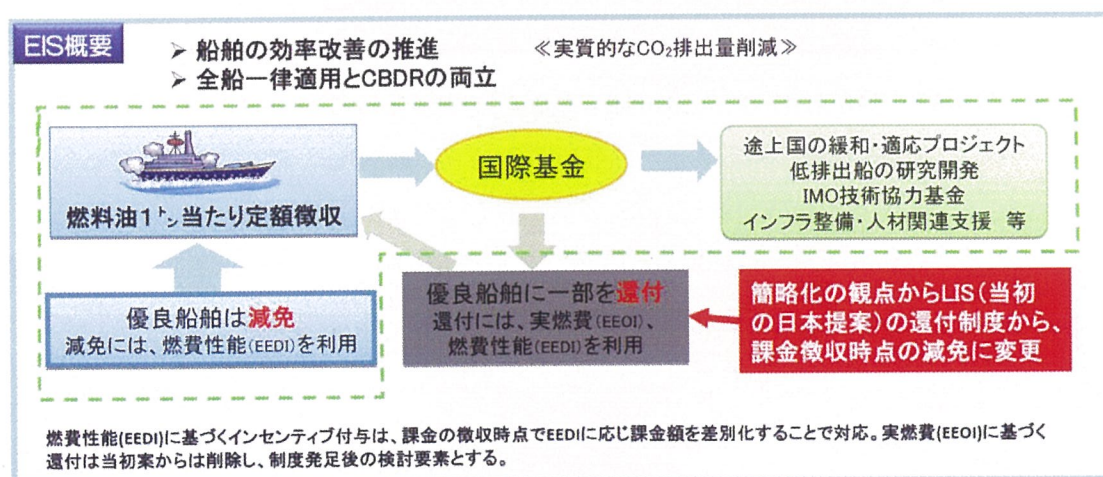


図4.2-2 EISの概要<sup>(5)</sup>より引用



### 4.3 政策に対する課題

国際海運からのCO<sub>2</sub>排出量を削減するための、国際機関や日本政府の掲げている政策に関して述べた。技術的手法、運航的手法、経済的手法の三手法に関して記述したが、運航的手法に関する検討は不十分であると言える。

運航的手法はウェザールーティングや減速航海だけではなく、航路(積出港及び荷揚港に対する寄港方法)などを検討する必要がある、課題として挙げられる。既存研究では、船型を大型化する事によりCO<sub>2</sub>排出量の削減効果が見込める事は明らかになっているが、削減効果の大きい船型は明らかになっていない。故に、今後、CO<sub>2</sub>排出量を削減するための、運航的手法に関して具体的な対策を提案し、その効果の検証や実行可能性を検討する必要がある。



#### 4.4 第4章に関する参考文献

- (1) 大坪新一郎:国際海運におけるCO<sub>2</sub>排出規制のあり方について, 政策研究論文, 運輸政策研究, Vol.12, No.4, 2010
- (2) 一般財団法人日本海事協会:船舶からの地球温暖化ガス排出削減に対するNKの取組, 2009年度研究開発の成果報告, 2009
- (3) 国土交通省:国際海運における世界初のCO<sub>2</sub>排出規制の導入について(参考資料1), 2011.07.19
- (4) 一般財団法人日本船舶技術研究協会:国際海運におけるエネルギー効率化に向けた枠組みづくり, 公益財団法人日本財団2010年度報告書, 2011.04
- (5) 公益財団法人日本海事センター:経済的手法についてのIMOでの議論と今後の展望, Class NK環境セミナー, 国際海運におけるCO<sub>2</sub>排出削減に向けた取組み, 2011.11.16
- (6) 環境省:地球温暖化対策のための税の導入, 総合環境政策, 総合環境政策曲環境経済課, <<https://www.env.go.jp/policy/tax/about.html>>, 最終アクセス2015.06.17
- (7) 温対法に基づく事業者別排出係数の算出方法等に係る検討会事務局:原稿の係数算出方法における課題と対応について, 資料2, 2015.02.13
- (8) 公益財団法人世界自然保護基金ジャパン(WWF ジャパン):温室効果ガス排出権取引, <<http://www.wwf.or.jp/activities/2015/05/1262711.html>>, 最終アクセス
- (9) 地球温暖化対策推進本部:京都議定書目標達成計画の進捗, 2014.07.01
- (10) 環境省:改定京都議定書目標達成計画の概要, 2008.03.28

## 第5章 物流コスト及びCO<sub>2</sub>排出量の算出式

### 5.1 算出式の概要

本研究では、物流コスト及びCO<sub>2</sub>排出量を算出する。5.1節では、算出する対象の概要を述べる。

第7章の感度分析、第9章の最適化では5.2.2節及び5.3.2節に記す算出式を用いる。感度分析では、物流コスト及びCO<sub>2</sub>排出量の算出、傾向を把握するとともに、何が影響を与えるのか検討をする。

日本の外航海運会社(オーナー及びオペレーターの計196社)を対象とした事業形態の調査では、オーナー専業とオーナー・オペレーター兼業の形態がそれぞれ50.0%ずつを占めていた<sup>(1)</sup>。そこで、本研究では、オーナーとオペレーターを兼業している船会社の物流コストを対象として算出する。故に、輸入で使用する船舶は自社船とする。借船料を除外したオーナーとオペレーターの費用構成は図5.1-1の通りである。船員費、減価償却費、燃料費、貨物費の割合が高い事が読み取れる。

海運会社のみではなく、本研究では荷主にも着目する。鉄鉱石の場合、船舶から保管場所が近いので、輸送にかかる費用は海上輸送費用のみで算出するが、貨物の荷役費や保管料などを考慮する。

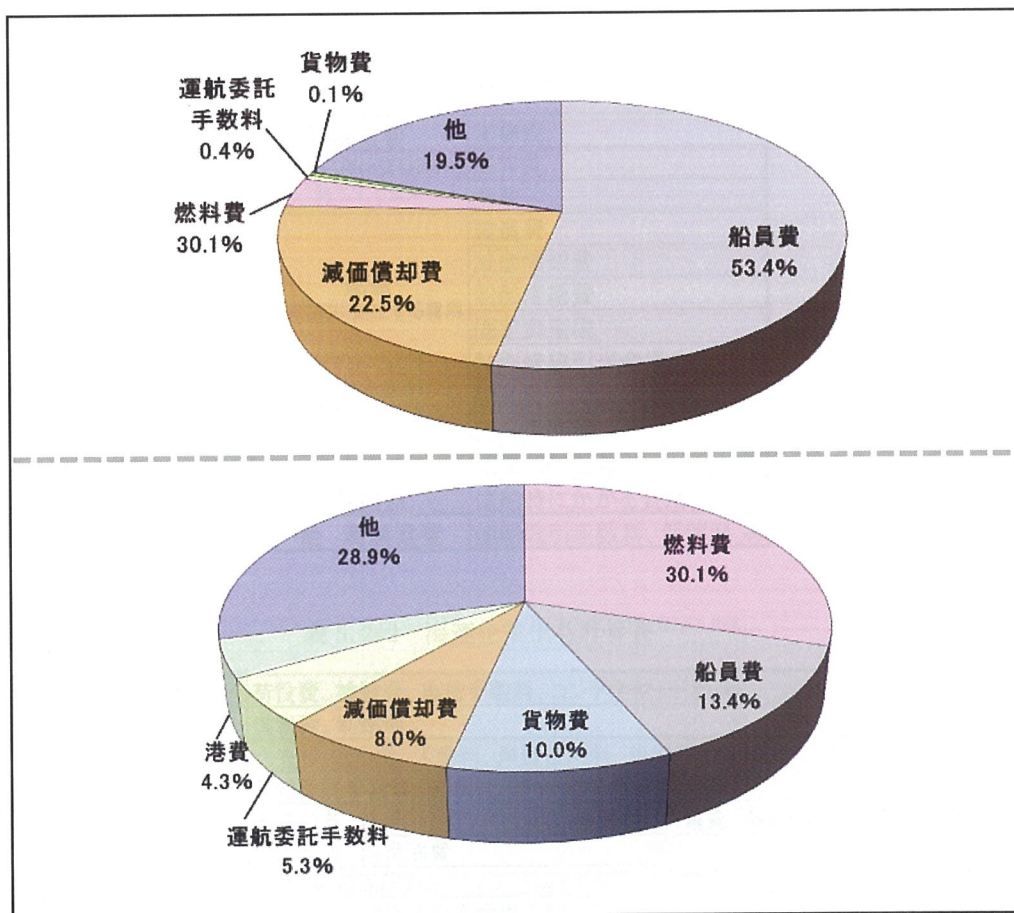


図 5.1-1 オーナーの構成費用とオペレーターの構成費用<sup>(1)</sup>より作成

## 5.2 物流コストの算出式

### 5.2.1 物流コストの内訳

5.2 では、物流コストの算出式を記述する。まず、参考文献(2)(3)(4)(5)(6)を参考に、物流コストを纏めていく。その上で、本研究における物流コストの費用項目を整理し、費用の内訳に関して述べる。

表 5.2-1 は、一般的な海運業界の会計における費用項目であり、船舶の運航に伴って発生する費用と船舶を所有する事によって発生する費用に分類している。これは、海運準則上による分類であり、費用の種類や分類をする上でのベースとなる。

表 5.2-2 は、海運企業の損益計算書の一部を抜粋したものである。大分類として、運航費、船費、借船料、その他海運業費用としているのは、海運企業財務諸表準則によるものである。運航費とは、船舶を運航する事によって発生する費用であり、直接変動費的な費用(アクティビティ・コスト)に属する。船費は、船舶を所有する事で発生する費用なので、固定費的な費用(キャパシティー・コスト)に近い概念とされる。

表 5.2-1 海運業界会計<sup>(2)</sup>より作成

|   |               |
|---|---------------|
| <b>運航費</b><br>運航に伴い変動的に発生する費用                         | 貨物費           |
|   | 燃料費           |
|   | 港費            |
| <b>船費</b><br>固定的に発生する費用<br><br>※マンニングを考慮する場合は変動的一面がある | 建造費           |
|   | 減価償却費         |
|   | 船舶修繕費         |
|   | 固定資産税         |
|   | 特別修繕引当金繰入額    |
|   | 船員費           |
|   | 船舶保険費         |
|   | 船舶消耗品費        |
| <b>借船料</b>  | 傭船時にかかる費用     |
| <b>他 海運業費</b>   | 他船取引手数料、保管料 等 |

表 5.2-2 海運企業損益計算書<sup>(3)</sup>より作成

|          |         |  |
|----------|---------|--|
| 運航費      | 貨物費     | 荷役費、検数費、集荷手数料、コンテナヤード料 等               |
|          | 燃料費     | 燃料費、助燃剤                                |
|          | 港費      | 水先料、とん税、入港料、岸壁使用料、曳船料、綱取放料、通船料、運河通航料 等 |
|          | その他 運航費 | 運航委託手数料、缶水代、チャーターボーナス 等                |
| 船費       | 船員費     | 船員給与、諸手当、食料費、福利厚生費、交通費、船員保険料、退職金 等     |
|          | 船舶消耗費   | 船用品費、潤滑油費                              |
|          | 船舶保険料   | 船体・船費保険料                               |
|          | 船舶修繕費   | 修繕費、特別修繕引当金繰入額                         |
|          | 船舶減価償却費 | 船舶の減価償却費                               |
|          | その他 船費  | 固定資産税、船主責任相互保険料、船舶所有及び維持管理費 等          |
| 借船料      |         | 期間傭船料、裸傭船料、コンテナ船スペースチャーター料 等           |
| その他海運業費用 |         | 海運代理店費、コンテナ関連施設・機器の貸借料 等               |



貨物費とは、船内、または、沿岸荷役費、船艙掃除料、転送費、集貨手数料などが挙げられる。荷役費の負担では、定期船と不定期船で異なり、定期船の場合は、海運企業が負担する事が一般的である。しかし、穀物・石炭・鉄鉱石などを運搬している不定期船では、荷主が荷役費を負担する運賃条件が多く利用されている。これを、FIO(Free In and Out：船内荷役船主無負担)といい、積出、荷卸、船内荷役、積揚荷役に関係なく、荷主が負担するという意味である。

燃料費には、燃料油と助燃剤の費用が含まれている。船舶を運航している時に消費する燃料を対象としており、不稼働期間(営業活動としての運航から離れている期間)の燃料費は、その他船費に含まれる。

港費は、港湾を利用する事によってかかる費用であり、水先料、入港料、岸壁使用料、運河通航料などが含まれている。

船費には、船員費、船舶消耗品費保険料、保険料、減価償却費などが挙げられる。船員費には、基本給、航海日当、主食費、清水給水費、教育費などが含まれている。船舶消耗品とは、係留索、船舶属具、塗料、水路図誌、医薬品にかかる費用を指し、会社によって費用は異なる。特定貨物のために使用する消耗品(ダンネージやスリング)は貨物費に属する。保険料は、船体の損害保険料を指し、戦争保険料はその他運航費、運賃保険料はその他貨物費、プロテクション保険料はその他船費に含まれている。

表 5.2-3 は、運航形態が大きく異なる、定期船・不定期船に分類し、物流総費用を算出している。定期船は、不特定多数の荷主による高付加価値の貨物を、一定の航路で予め公表されたスケジュールに従い運航する船舶としている。不定期船は、重量などに対して単位あたりの料金が低く、航路や輸送量が異なると記している。両者の違いは、前者が商機を逃さぬための迅速な輸送や期日などが設けられているが、後者の場合、一航路毎などの短期的な輸送量は安定しているが、長期的に見ると景気動向に左右される。

表 5.2-3 不定期船の費用項目より <sup>(4)</sup>作成

|     |     |      |
|-----|-----|------|
| 物流費 | 輸送費 | 燃料費  |
|     |     | 入出港費 |
|     |     | 荷役費  |
|     |     | 船員費  |
|     |     | 船舶費  |
|     | 在庫費 | 保管費  |
|     |     | リスク費 |

当該既存研究では、輸送費だけではなく、在庫費に関しても考慮されている。本研究では、運航パターンによって変化する費用を検討するため、当該研究と同様に、輸送費のみではなく、貨物保管費などを含む物流コストに着目する。

表 5.2-4 及び 5.2-5 は、バルク船を対象とした既存研究による費用分類である。

船費のうち、業務費は船型が大きくなるに従い緩やかに増加し、トン数(DWT)で見た場合は大型化するに伴い減少している。資本費に関しては、船価が基となっているため、船型に比例して増大する費用である。

表 5.2-4 一般バルク船の費用項目 (5)より作成

|     |     |          |
|-----|-----|----------|
| 船費  | 業務費 | 船員費      |
|     |     | 船舶修繕費    |
|     |     | 保険料      |
|     |     | 店費       |
| 運航費 | 資本費 | 利息       |
|     |     | 減価償却費    |
|     | 貨物費 | ターミナル使用料 |
|     |     | 荷役作業費    |
|     | 港費  | 港湾使用料    |
|     |     | 入港料      |
|     |     | パイロット費   |
|     | 燃料費 | バンカー代    |

表 5.2-5 一般バルク船の費用項目 (6)より作成

|                |                         |                       |
|----------------|-------------------------|-----------------------|
| Capital Cost   | Interest Payment        | Size of loan          |
|                |                         | Source of loan        |
|                | Capital Repayments      | Size of loan          |
|                |                         | Length of loan        |
| Operating Cost | Crew Cost               | Crew Numbers          |
|                |                         | Wage Level            |
|                |                         | Welfare Level         |
|                | Lubricants and Stores   |                       |
|                | Maintenance and repairs |                       |
|                | Insurance               |                       |
|                | Administration          |                       |
| Voyage Cost    | Fuel Consumption        | Fuel Price            |
|                |                         | Fuel Consumption Rate |
|                | Harbor Charges          |                       |
|                | Canal Tolls             |                       |
|                | Cargo Handling Charges  |                       |

運航費のうち、貨物費に関しては、荷主が自前の港湾で荷役させている事が多い事から、控除している。港費においては、バルク貨物を取り扱う主要港湾の料金を回帰分析し、算定している。燃料費は、航海距離、港湾での停泊日数などから燃料消費料を算出し、燃料単価を掛けあわせて算出している。

本研究における費用の内訳を表 5.4-6 に、本研究における検討範囲を図 5.4-1 に示す。前述した既存研究や書籍を参考に、物流コストを運航費(変動費)と船費(固定費)の総計とした。物流機能として、輸送、荷役、保管、流通加工、包装が挙げられる。本研究の検討範囲は、積出港の保管場所から、海上輸送を経て、荷揚港の保管場所までを考慮し、保管場所で鉄鉱石が消費されるまでとする。

運航費は、貨物費、燃料費、港費の合計で、貨物費には、荷役費と保管費が含まれる。また、船費は、減価償却費、船員費、保険料の合計である。なお、運航する船舶を自社船としているため、備船費を含まない事とした。

表 5. 4-6 本研究における物流コストの内訳

| 費用分類       | 内訳    |                         |
|------------|-------|-------------------------|
| 変動費<br>運航費 | 貨物費   | 荷役費、保管費                 |
|            | 燃料費   | C重油                     |
|            | 港費    | 入港料、とん税、水先料、曳船使用料、岸壁使用料 |
| 固定費<br>船費  | 減価償却費 | 償却期間20年間、残存価値5%         |
|            | 船員費   | 給与                      |
|            | 保険料   | 船舶保険料                   |

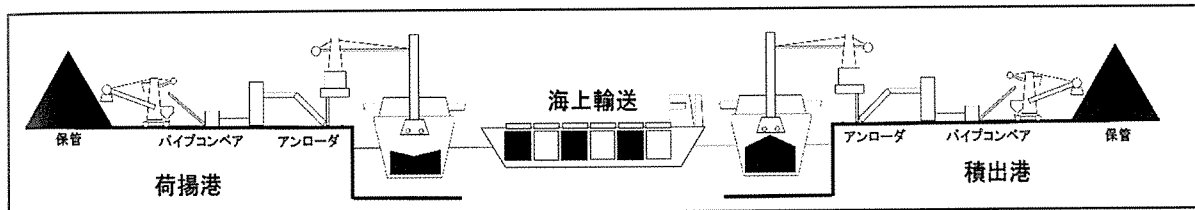


図 5. 4-1 本研究の輸送範囲のイメージ



## 5.2.2 物流コストの算出式

5.2.2節では、物流コストの算出式を述べる。物流コストは、運航費と船費の総計とした。運航費は貨物費、燃料費、港費の総計、船費は減価償却費、船員費、保険料の総計とした。

なお、算出式に用いたデータは5.4節に記す。

$$\text{物流コスト}[\$/\text{年}] = \text{運航費}[\$/\text{年}] + \text{船費}[\$/\text{年}] \quad (1)$$

$$\text{運航費}[\$/\text{年}] = \text{貨物費}[\$/\text{年}] + \text{燃料費}[\$/\text{年}] + \text{港費}[\$/\text{年}] \quad (2)$$

$$\text{船費}[\$/\text{年}] = \text{減価償却費}[\$/\text{年}] + \text{船員費}[\$/\text{年}] + \text{保険料}[\$/\text{年}] \quad (3)$$

$$\text{貨物費}[\$/\text{年}] = \text{荷役費}[\$/\text{年}] + \text{保管費}[\$/\text{年}] \quad (4)$$

$$\text{荷役費}[\$/\text{年}] = \text{荷役単価}[\$/\text{トン}] \times \text{需要量}[\text{トン}/\text{年}] \times 2 \text{ (荷積み・荷降ろし)} \quad (5)$$

$$\text{保管費}[\$/\text{年}] = \text{保管単価}[\$/(\text{トン} \cdot \text{年})] \times \text{平均保管量}[\text{トン}] \quad (6)$$

$$\text{燃料費}[\$/\text{年}] = \text{燃料単価}[\$/\text{トン}] \times \text{燃料消費原単位}[\text{トン}/\text{年}] \times \text{総航海時間}[\text{年}/\text{年}] \quad (7)$$

$$\text{燃料消費原単位}[\text{トン}/\text{年}] = 22.2 + (0.000122 \times \text{DWT}) \quad (8)$$

$$\text{港費}[\$/\text{年}] = \text{入港費}[\$/\text{年}] + \text{とん税}[\$/\text{年}] + \text{水先料}[\$/\text{年}] + \text{曳船使用料}[\$/\text{年}] + \text{岸壁使用料}[\$/\text{年}] \quad (9)$$

$$\text{入港費}[\$/\text{年}] = \text{入港費単価}[\$/\text{回}] \times \text{総寄港回数}[\text{回}/\text{年}] \quad (10)$$

$$\text{とん税}[\$/\text{年}] = \text{とん税単価}[\$/\text{回}] \times \text{総寄港回数}[\text{回}/\text{年}] \quad (11)$$

$$\text{水先料}[\$/\text{年}] = \text{水先使用料単価}[\$/\text{回}] \times \text{総寄港回数}[\text{回}/\text{年}] \times 2 \text{ (入港・出港)} \quad (12)$$

$$\text{曳船使用料}[\$/\text{年}] = \text{曳船使用料単価}[\$/\text{回}] \times \text{総寄港回数}[\text{回}/\text{年}] \times 2 \text{ (入港・出港)} \quad (13)$$

$$\text{曳船使用料単価}[\$/\text{回}] = 1.658168314 \times \text{DWT} + 54285.66961 \quad (14)$$

$$\text{岸壁使用料}[\$/\text{年}] = \text{岸壁使用料単価}[\$/\text{年}] \times \text{総岸壁使用時間}[\text{年}/\text{年}] \quad (15)$$

$$\text{減価償却費}[\$/\text{年}] = \{ \text{船価} - (\text{船価} \times 0.05) \} / 20 [\$/(\text{隻} \cdot \text{年})] \times \text{就航隻数}[\text{隻}] \quad (16)$$

$$\text{船価}[\$/\text{隻}] = 15691732.7 + (236.3 \times \text{DWT}) \quad (17)$$

$$\text{船員費}[\$/\text{年}] = \text{船員費単価}[\$/(\text{隻} \cdot \text{年})] \times \text{就航隻数}[\text{隻}] \quad (18)$$

$$\text{保険料}[\$/\text{年}] = \text{保険料単価}[\$/(\text{隻} \cdot \text{年})] \times \text{就航隻数}[\text{隻}] \quad (19)$$

$$\text{保険料単価}[\$/\text{隻}] = 10890075.2 + (144.6 \times \text{DWT}) \quad (20)$$

### 5.3 CO<sub>2</sub> 排出量の算出式

#### 5.3.1 CO<sub>2</sub> 排出量の内訳

本研究では、船舶のC重油を使用した際に排出されるCO<sub>2</sub>総排出量を算出する。本来、A重油やシリンダ油などの燃料を用いるが、1航海においてC重油を用いる割合が98.0%<sup>(9)</sup>であるため、C重油を用いた場合のみ算出する。

算出する際、船型、船種、往航(空荷状態)・復航(満載状態)・日本内地の航行の船速を考慮し、1航海あたりに消費するC重油量からCO<sub>2</sub>排出量を算出した。

算出にあたり、参考文献(10)(11)(12)を参考にした。

### 5.3.2 CO<sub>2</sub>排出量の算出式

CO<sub>2</sub>排出量は下記の式から算出する。式(8)と同様に、1航海あたりに消費するC重油を算出し、1年間の総航海時間に乗じる事により、C重油の年間あたりの総消費量を求めた。燃料消費量は船種毎で異なるため、一般バルク船を対象とした。その値にCO<sub>2</sub>排出量原単位を乗じてCO<sub>2</sub>排出量を算出する。

なお、算出するのに用いたデータは5.4節に記す。

CO<sub>2</sub>排出量[t-CO<sub>2</sub>/年]=CO<sub>2</sub>排出原単位[t-CO<sub>2</sub>/トン]

×燃料消費原単位[トン/年]×総航海時間[年/年] ----- (21)



## 5.4 寄港回数と必要隻数の算出式

貨物を輸送するにあたり、船型毎に年間あたりの寄港回数と必要隻数を算出し、その値から物流コスト及びCO<sub>2</sub>排出量を求める。

一定量の貨物を輸送する際に、ある載貨重量トン(DWT)の船舶で年間あたり何回寄港しなければならないかを算出した値である。式(23)は、5.5.1節で詳しく述べるが、保管能力に制約があった場合の議論をするためのものである。大型船で一括大量輸送をした場合に、貨物を荷揚げ出来なければ意味が無い。故に、一回に荷揚げ出来る貨物量に制約を加えるため、寄港回数を一定回数以上とする制約を加えている。感度分析の結果には、「荷揚げ量に制約がある場合・ない場合」と記している。

年間必要となる隻数は、寄港回数と総航海時間に乗じる事により算出している。総航海時間には、往復航だけではなく、荷役時間などを含んでいるため、船型による違いが生じる。

載貨重量に関しては、参考文献(9)より、最大載貨重量の8割程度の貨物を積載するというデータを参考にした。

$$\text{寄港回数[回/年]} = \text{需要量[トン]} \div \text{積載重量[トン/隻]} \quad (22)$$

$$\text{寄港回数[回/年]} \geq \text{寄港頻度下限値[回/年]} \quad (23)$$

$$\text{必要隻数[隻/年]} = \text{寄港回数[回/年]} \times \text{総航海時間[年/年]} : \text{整数値化} \quad (24)$$

$$\begin{aligned} \text{総航海時間[年/年]} &= \text{往航時間[年/年]} + \text{復航時間[年/年]} + \text{内航航海時間[年/年]} \\ &\quad + \text{港入出港時間[年/年]} + \text{荷役時間[年/年]} \end{aligned} \quad (25)$$

$$\text{載貨重量[トン/年]} = 0.8 \times \text{最大載貨重量[トン/年]} \quad (26)$$

$$\text{往航時間[年/年]} = \text{積出港荷揚港間距離} \div 14.3 \quad (27)$$

$$\text{復航時間[年/年]} = \text{積出港荷揚港間距離} \div 13.9 \quad (28)$$

$$\text{内航航海時間[年/年]} = \text{内航港間距離} \div 12.0 \quad (29)$$

$$\text{入出港時間[年/年]} = (\text{積出港数} + \text{荷揚港数}) \times 2 \times (\text{DWT}/200000) \times 66 \quad (30)$$

$$\text{荷役時間[年/年]} = (\text{積出港数} + \text{荷揚港数}) \times (\text{DWT}/200000) \times 84 \quad (31)$$

## 5.5 算出するためのデータ

### 5.5.1 貨物費

貨物費は荷役費と保管費の総計とした。参考文献(12)より、木更津港を利用した場合の費用から求めた。表 5.5-1 は荷揚港別の荷役単価を示している。

荷役費は、年間需要量から貨物の積出量及び荷揚量と 1 トンあたりの荷役費を乗じて算出した。荷役単価は、粉状の鉄鉱石を接岸した船舶から保管場所に荷役するまでの費用とした。

港費は、鉄鉱石が貨物量に対し、一定量が消費されると仮定して平均貨物保管量を求めた。その値に、1 トンあたりの単価を乗じて算出した(図 5.5-1)。表 5.5-1 より、荷役単価を 25.59(USD/トン)、保管単価を  $0.05 \times \text{保管期間 (USD/(トン・年))}$  とする。

表 5.5-1 荷揚港別の荷役単価<sup>(12)</sup>より作成

| 荷揚港 | 鉄鉱石(塊)<br>接岸本船<br>上屋・野積場内 | 鉄鉱石(塊)<br>接岸本船<br>上屋・野積場前 | 鉄鉱石(粉)<br>接岸本船<br>上屋・野積場内 | 鉄鉱石(粉)<br>接岸本船<br>上屋・野積場前 | 鉄鉱石(塊)<br>船内荷役 | 鉄鉱石(粉)<br>船内荷役 |
|-----|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------|----------------|
| 室蘭  | 2,028                     | 1,834                     | 1,456                     | 1,298                     | 1,117          | 700            |
| 鹿島  | 2,071                     | 1,883                     | 1,606                     | 1,427                     | 1,191          | 748            |
| 千葉  | 2,071                     | 1,883                     | 1,606                     | 1,427                     | 1,191          | 748            |
| 木更津 | 2,071                     | 1,883                     | 1,606                     | 1,427                     | 1,191          | 748            |
| 名古屋 | 2,578                     | 2,347                     | 1,861                     | 1,667                     | 1,496          | 938            |
| 下津  | 2,066                     | 1,920                     | 1,338                     | 1,516                     | 1,042          | 658            |
| 東播磨 | 1,771                     | 1,604                     | 1,235                     | 1,104                     | 982            | 613            |
| 福山  | 1,888                     | 1,709                     | 1,488                     | 1,316                     | 912            | 574            |
| 水島  | 1,644                     | 1,489                     | 1,251                     | 1,110                     | 912            | 574            |
| 呉   | 2,066                     | 1,920                     | 1,338                     | 1,516                     | 1,042          | 658            |
| 大分  | 1,888                     | 1,709                     | 1,488                     | 1,316                     | 1,046          | 912            |
| 北九州 | 2,308                     | 2,100                     | 1,727                     | 1,541                     | —              | —              |

※単位: 円/トン

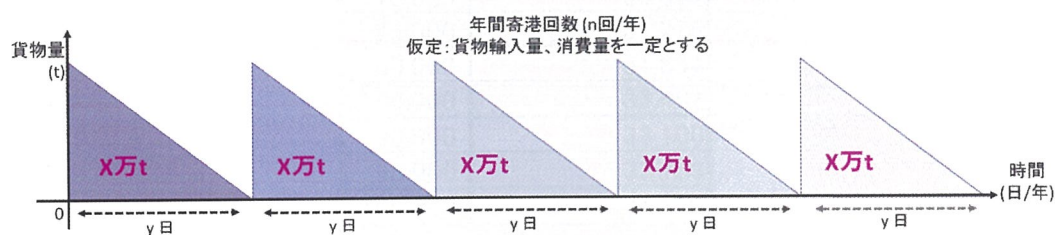


図 5.5-1 貨物の平均保管量の算出イメージ

## 5.5.2 燃料費

航行する際に使用する燃料は、C重油やシリンダ油などがあるが、航行中の98.0%はC重油が占めている。また、全燃料の97.0%は航走時に消費され、残りの3.0%は停泊時に消費される<sup>(1)</sup>。そのため、本研究では、航走時に消費するC重油を対象とした。

船速だけではなく、船種や船型によって燃料消費量は異なる。船種を一般バルク船として船型毎に燃料消費量を算出した。船型別の燃料消費量を算出した結果が表5.5-2である。

C重油価格は2010年の価格を参考とした(表5.5-3)<sup>(13)</sup>。算出した消費量はt-Fuelであったため、参考文献(14)より、1t-Fuelあたり1.176kl-Fuelとした。

表5.5-2のデータを元に、回帰分析を行った結果が表5.5-4である。回帰分析の結果より、燃料油単価を281.38(USD/t-Fuel)とする。

表 5.5-2 船型別の燃料消費量

| 船型<br>(DWT) | 燃料消費量<br>(t-Fuel/隻・日) |
|-------------|-----------------------|
| 5,000       | 22.765                |
| 10,000      | 23.373                |
| 15,000      | 23.981                |
| 20,000      | 24.589                |
| 25,000      | 25.197                |
| 30,000      | 25.805                |
| 35,000      | 26.413                |
| 40,000      | 27.021                |
| 45,000      | 27.629                |
| 50,000      | 28.237                |
| 55,000      | 28.845                |
| 60,000      | 29.453                |
| 65,000      | 30.060                |
| 70,000      | 30.668                |
| 75,000      | 31.276                |
| 80,000      | 31.884                |
| 85,000      | 32.492                |
| 90,000      | 33.100                |
| 95,000      | 33.708                |
| 100,000     | 34.316                |
| 150,000     | 40.395                |
| 200,000     | 46.474                |
| 250,000     | 52.553                |
| 300,000     | 58.633                |
| 350,000     | 64.712                |
| 400,000     | 70.791                |



表 5.5-3 C 重油価格の推移<sup>(13)</sup>

| 年    | C重油価格<br>(円/kl) |
|------|-----------------|
| 2000 | 23,838          |
| 2001 | 23,625          |
| 2002 | 25,225          |
| 2003 | 25,750          |
| 2004 | 29,163          |
| 2005 | 41,875          |
| 2006 | 49,938          |
| 2007 | 59,438          |
| 2008 | 61,313          |
| 2009 | 45,250          |
| 2010 | 50,313          |
| 2011 | 61,375          |
| 2012 | 63,150          |
| 2013 | 72,588          |
| 2014 | 74,400          |

表 5.5-4 燃料油単価と船型(DWT)による回帰分析結果

| 回帰統計   |             |
|--------|-------------|
| 重相関 R  | 0.841894674 |
| 重決定 R2 | 0.708786642 |
| 補正 R2  | 0.697586128 |
| 標準誤差   | 7.394230271 |
| 観測数    | 28          |

| 分散分析表 |     |             |             |             |             |
|-------|-----|-------------|-------------|-------------|-------------|
|       | 自由度 | 変動          | 分散          | 観測された分散比    | 有意 F        |
| 回帰    | 1   | 3459.899802 | 3459.899802 | 63.28161869 | 1.96606E-08 |
| 残差    | 26  | 1421.540674 | 54.6746413  |             |             |
| 合計    | 27  | 4881.440476 |             |             |             |

|       | 係数          | 標準誤差        | t           | P-値         | 下限 95%      | 上限 95%      | 下限 95.0%    | 上限 95.0%    |
|-------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 切片    | 22.15750804 | 2.608409583 | 8.494642935 | 5.63937E-09 | 16.79584535 | 27.51917073 | 16.79584535 | 27.51917073 |
| X 値 1 | 0.000121584 | 1.5284E-05  | 7.954974462 | 1.96606E-08 | 9.01669E-05 | 0.000153    | 9.01669E-05 | 0.000153    |

### 5.5.3 港費

港費は、入港費、とん税、水先料、曳船使用料、岸壁使用料の総計である。算出するにあたり、参考文献(12)(15)より、木更津港を利用した場合の料金を参考にした。岸壁使用料及び入港費を表 5.5-5、とん税を表 5.5-6、水先料を表 5.5-7 に示す。

岸壁使用料は、岸壁の係留時間によるため、船型毎に着岸時間を算出して求めた。なお、総岸壁使用时间(係留時間)は、ヒアリング調査より求めた。曳船使用単価は、表 5.5-8 及び表 5.5-9<sup>(15)(16)</sup>から料金を算出し、船型毎に曳船使用料を纏め、その値を回帰分析して求めた。回帰分析した結果を表 5.5-10 に示す。

表 5.5-5 岸壁使用料と入港費<sup>(12)</sup>より作成

| 木更津港          | 分類   | 期間               | 単位       | 円 | 銭  |
|---------------|------|------------------|----------|---|----|
| 係留施設<br>岸壁使用料 | 外航船舶 | 係留3時間未満          | 総トン数1トン毎 | 2 | 0  |
|               | 内航船舶 |                  |          | 2 | 16 |
|               | 外航船舶 | 係留3時間以上12時間未満    |          | 3 | 0  |
|               | 内航船舶 |                  |          | 3 | 24 |
|               | 外航船舶 | 24時間を超える場合は12時間毎 |          | 4 | 0  |
|               | 内航船舶 |                  |          | 4 | 32 |
| 入港料           | 外航船舶 | 入港1回毎            | 総トン数1トン毎 | 2 | 50 |
|               | 内航船舶 |                  |          | 1 | 35 |
|               | 他船舶  |                  |          | 2 | 70 |

表 5.5-6 とん税<sup>(12)</sup>より作成

| 税種    | 分類 |                    | 単位         | 円  | 銭 |
|-------|----|--------------------|------------|----|---|
| とん税   | 外航 | 開港への入港ごとに納付する場合    | 純トン数1トンまで毎 | 16 | 0 |
|       |    | 開港ごとに1年分を一時に納付する場合 |            | 48 | 0 |
| 特別とん税 |    | 開港への入港ごとに納付する場合    |            | 20 | 0 |
|       |    | 開港ごとに1年分を一時に納付する場合 |            | 60 | 0 |

表 5.5-7 水先料<sup>(12)</sup>より作成

| 水先区                       | 運航区分・分類    |            | 基本額 (円)                     | 加算額 (円)                       |
|---------------------------|------------|------------|-----------------------------|-------------------------------|
|                           |            |            | 1000GT以下 且つ<br>喫水3メートル以下の場合 | 1000GTを超え 又は<br>喫水3メートルを超える場合 |
| 東京水先区<br>東京湾水先区<br>横須賀水先区 | 東京区の境界付近と  | 10,000GT以上 | 57,185                      | 805                           |
|                           | 木更津港の境界付近間 | 10,000GT未満 | 18,735                      |                               |
|                           | 川崎区の境界付近と  | 10,000GT以上 | 59,997                      | 910                           |
|                           | 東京区の境界付近間  | 10,000GT未満 | 21,547                      |                               |
|                           | 川崎区の境界付近と  | 10,000GT以上 | 63,581                      | 1,055                         |
|                           | 千葉港の境界付近間  | 10,000GT未満 | 25,231                      |                               |
|                           | 川崎区の境界付近と  | 10,000GT以上 | 47,878                      | 455                           |
|                           | 木更津港の境界付近間 | 10,000GT未満 | 9,428                       |                               |
|                           | 千葉港の境界付近と  | 10,000GT以上 | 64,650                      | 1,085                         |
|                           | 木更津港の境界付近間 | 10,000GT未満 | 26,200                      |                               |
|                           | 木更津港からの    | 10,000GT以上 | 68,044                      | 1,205                         |
|                           | 出入港        | 10,000GT未満 | 29,594                      |                               |
|                           | 木更津港内における  | 10,000GT以上 | 65,232                      | 1,100                         |
|                           | 転錨         | 10,000GT未満 | 26,782                      |                               |
| 東京水先区                     | 東京区への      | 10,000GT以上 | 41,700                      | 1,264                         |
|                           | 出入港        | 10,000GT未満 | 32,004                      |                               |
|                           | 東京区における    | 10,000GT以上 | 37,900                      | 1,120                         |
|                           | 転錨         | 10,000GT未満 | 28,204                      |                               |
| 東京湾水先区                    | 千葉港への出入港   | 10,000GT以上 | 39,588                      | 1,261                         |
|                           |            | 10,000GT未満 | 31,915                      |                               |
|                           | 千葉港4区への出入港 | 10,000GT以上 | 35,966                      | 1,127                         |
|                           |            | 10,000GT未満 | 28,293                      |                               |
|                           | 千葉港内における   | 10,000GT以上 | 34,204                      | 1,060                         |
|                           | 転錨         | 10,000GT未満 | 26,531                      |                               |
|                           | 川崎第1区への    | 10,000GT以上 | 48,201                      | 1,585                         |
|                           | 出入港、転錨     | 10,000GT未満 | 40,528                      |                               |
|                           | 川崎第2区への    | 10,000GT以上 | 34,204                      | 1,060                         |
|                           | 出入港、転錨     | 10,000GT未満 | 26,531                      |                               |
|                           | 東京湾入り口と    | 10,000GT以上 | 90,633                      | 2,065                         |
|                           | 千葉港の境界付近間  | 10,000GT未満 | 52,183                      |                               |

※加算額＝1,000GT、又は、喫水30センチ毎に加算

表 5.5-8 船型別の曳船の必要隻数<sup>(16)</sup>より作成

| 本船<br>(総トン数) | 曳船の型及び隻数   |           |            |
|--------------|------------|-----------|------------|
|              | バウスラスター装備船 |           | スラスター非装備   |
|              | 所定以上の馬力    | 所定未満の馬力   |            |
| 3000トン未満     | 小型1隻       | 小型1隻      | 小型1隻       |
| 10000トン未満    | 中型1隻       | 中型2隻      | 中型2隻       |
| 15000トン未満    | 大型1隻       | 大型1隻・中型1隻 | 中型1隻・大型1隻  |
| 25000トン未満    | 大型1隻       | 大型1隻・中型1隻 | 大型2隻       |
| 40000トン未満    | Ⅲ型1隻       | 大型1隻・中型1隻 | 大型2隻       |
| 60000トン未満    | Ⅲ型1隻       | Ⅲ型1隻・中型1隻 | Ⅲ型1隻・大型1隻  |
| 60000トン以上    | Ⅲ型1隻       | Ⅲ型1隻・中型1隻 | Ⅲ型2隻又は大型3隻 |

※小型:1000PS以下 中型:1001-2000PS 大型:2001-3000PS Ⅲ型:3001PS以上

※10000トン以上の船舶には中型引船は1660PS以上

※60000トン以上の本船に使用されるⅢ型引船1隻は3600PS以上



表 5.5-9 船型別の曳船料<sup>(15)(16)</sup>より作成

| 本船の船型<br>(GT) | 使用料金<br>(円) |
|---------------|-------------|
| 3,000         | 45,200      |
| 5,000         | 58,286      |
| 10,000        | 80,257      |
| 20,000        | 89,171      |
| 30,000        | 108,800     |
| 40,000        | 128,133     |
| 50,000        | 142,333     |
| 60,000        | 159,000     |
| 70,000        | 159,000     |
| 70,000        | 166,300     |

表 5.5-10 曳船使用料と船型による回帰分析結果

| 回帰統計   |             |  |  |  |
|--------|-------------|--|--|--|
| 重相関 R  | 0.983031442 |  |  |  |
| 重決定 R2 | 0.966350816 |  |  |  |
| 補正 R2  | 0.962144668 |  |  |  |
| 標準誤差   | 8556.457892 |  |  |  |
| 観測数    | 10          |  |  |  |

| 分散分析表 |     |             |             |             |             |
|-------|-----|-------------|-------------|-------------|-------------|
|       | 自由度 | 変動          | 分散          | 観測された分散比    | 有意 F        |
| 回帰    | 1   | 16820476746 | 16820476746 | 229.7472205 | 3.55375E-07 |
| 残差    | 8   | 585703773.3 | 73212971.66 |             |             |
| 合計    | 9   | 17406180519 |             |             |             |

|       | 係数          | 標準誤差        | t           | P-値         | 下限 95%      | 上限 95%      | 下限 95.0%    | 上限 95.0%    |
|-------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 切片    | 54285.66961 | 4760.194139 | 11.40408732 | 3.15759E-06 | 43308.64224 | 65262.69697 | 43308.64224 | 65262.69697 |
| X 値 1 | 1.658168314 | 0.109396513 | 15.1574147  | 3.55375E-07 | 1.405899503 | 1.910437125 | 1.405899503 | 1.910437125 |

これらの結果より、入港費単価を  $0.03 \times \text{GT}$  (USD/回)、とん税単価を  $0.41 \times \text{GT}$  (USD/回)、水先使用料単価を  $409.74 \times \text{DWT}$  (USD/回)、曳船使用料単価を  $618.45 \times \text{GT}$  (USD/回)、岸壁使用料単価を  $0.03 \times \text{GT}$  (USD/年)、総岸壁使用時間を  $0.019 \times \text{DWT}$  (年/年) とする。

#### 5.5.4 減価償却費

表 5.5-11 は、参考文献(17)に基づいた、船型を一般バルク船の船価を示しており、回帰分析を行った。その結果が表 5.5-12 である。算出した船価を、償却期間 20 年間、残存価値 5.0%とした場合の定額法を用いて減価償却費を算出した。更に、その値に必要隻数を乗じたものが 5.5.2 節で示した式(16)である。

表 5.5-11 船型別の一般バルク船の船価<sup>(17)</sup>より作成

| 船型<br>(DWT) | 価格<br>(USD/隻) |
|-------------|---------------|
| 35,000      | 23,000,000    |
| 57,000      | 30,000,000    |
| 76,000      | 34,000,000    |
| 180,000     | 58,000,000    |

表 5.5-12 船価と船型(DWT)による回帰分析結果

| 回帰統計   |             |  |  |  |
|--------|-------------|--|--|--|
| 重相関 R  | 0.99869769  |  |  |  |
| 重決定 R2 | 0.997397075 |  |  |  |
| 補正 R2  | 0.996095613 |  |  |  |
| 標準誤差   | 949519.8824 |  |  |  |
| 観測数    | 4           |  |  |  |

| 分散分析表 |     |             |             |             |            |
|-------|-----|-------------|-------------|-------------|------------|
|       | 自由度 | 変動          | 分散          | 観測された分散比    | 有意 F       |
| 回帰    | 1   | 6.90947E+14 | 6.90947E+14 | 766.3664762 | 0.00130231 |
| 残差    | 2   | 1.80318E+12 | 9.01588E+11 |             |            |
| 合計    | 3   | 6.9275E+14  |             |             |            |

|       | 係数          | 標準誤差        | t           | P-値         | 下限 95%      | 上限 95%      | 下限 95.0%    | 上限 95.0%    |
|-------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 切片    | 15691732.67 | 881411.1281 | 17.80296636 | 0.003140261 | 11899326.67 | 19484138.66 | 11899326.67 | 19484138.66 |
| X 値 1 | 236.3019234 | 8.53589388  | 27.68332488 | 0.00130231  | 199.5749363 | 273.0289105 | 199.5749363 | 273.0289105 |

### 5.5.5 船員費

参考文献(18)によれば、国際船舶1隻あたりの年間船員費は下記の通りである。

- (i) 日本人船員4名、外国人船員19名：約190万(USD/隻)
- (ii) 全員外国人船員23名：約93万(USD/隻)

海運企業の規模や、運航している船舶の隻数によって変化する費用である。よって、本研究では、鉄鉱石の需要量をベースに、運航する船舶の必要隻数を算出し、その隻数と上述した費用を乗じる事により、船員費を求める。船員費単価を1,900,000(USD/(隻・年))とする。



## 5.5.6 保険料

表 5.5-13 はヒアリング調査(2014 年 6 月 9 日実施)に基づく、船型と保険料の関係を示している。これを元に回帰分析を行った。その結果を表 5.5-14 に示す。この値に載貨重量を乗じて保険料を算出しているのが 5.2.2 節の式(18)である。なお、保険料単価は 124,062.65(USD/(隻・年))とする。

表 5.5-13 船型別の 1 隻あたりの年間保険料

| 船型<br>(DWT) | 保険料<br>(円/隻) |
|-------------|--------------|
| 20,000      | 14,330,000   |
| 30,000      | 14,330,000   |
| 40,000      | 16,940,000   |
| 50,000      | 16,940,000   |
| 60,000      | 20,550,000   |
| 70,000      | 20,550,000   |
| 80,000      | 24,270,000   |
| 100,000     | 24,270,000   |

表 5.5-14 保険料と船型(DWT)による回帰分析結果

| 回帰統計   |             |
|--------|-------------|
| 重相関 R  | 0.962843882 |
| 重決定 R2 | 0.927068341 |
| 補正 R2  | 0.914913064 |
| 標準誤差   | 1169137.341 |
| 観測数    | 8           |

| 分散分析表 |     |             |             |            |             |
|-------|-----|-------------|-------------|------------|-------------|
|       | 自由度 | 変動          | 分散          | 観測された分散比   | 有意 F        |
| 回帰    | 1   | 1.0425E+14  | 1.0425E+14  | 76.2687986 | 0.000124695 |
| 残差    | 6   | 8.20129E+12 | 1.36688E+12 |            |             |
| 合計    | 7   | 1.12452E+14 |             |            |             |

|       | 係数          | 標準誤差        | t           | P-値         | 下限 95%      | 上限 95%      | 下限 95.0%    | 上限 95.0%    |
|-------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 切片    | 10890075.19 | 1018826.888 | 10.68883764 | 3.9567E-05  | 8397095.601 | 13383054.77 | 8397095.601 | 13383054.77 |
| X 値 1 | 144.5764411 | 16.55480529 | 8.733200937 | 0.000124695 | 104.0682918 | 185.0845904 | 104.0682918 | 185.0845904 |

### 5.5.7 CO<sub>2</sub>排出量

CO<sub>2</sub>排出量を算出するにあたり、5.5.2節で述べた、燃料消費量を元に算出する。

C 重油 kl-fuel あたりの CO<sub>2</sub> 排出量原単位は、発熱量と炭素排出係数、炭素が結合した CO<sub>2</sub> の重量関係 を乗じて算出した。参考文献(11)から、C 重油の発熱量を 41.9 GJ/kl、炭素排出係数を 0.0195t-CO<sub>2</sub>/GJ、炭素が結合した CO<sub>2</sub> の重量関係を 44/12 とした。なお、5.2.2 の式(8)と同様に、C 重油 1l-fuel あたり 0.85t-fuel とした。

### 5.5.8 為替レートと CO<sub>2</sub> 排出権取引価格

物流コストを算出するにあたり、USD と円の為替レートは 2010 年の年間平均価格を参考に算出した (表 5.5-15)<sup>(19)</sup>。

表 5.5-15 USD と円の為替レート<sup>(19)</sup>

| 月/年 | 2009  | 2010  | 2011  | 2012  | 2013   |
|-----|-------|-------|-------|-------|--------|
| 1月  | 90.48 | 91.16 | 82.61 | 76.98 | 89.16  |
| 2月  | 92.50 | 90.28 | 82.50 | 78.40 | 93.17  |
| 3月  | 98.16 | 90.52 | 81.80 | 82.43 | 94.79  |
| 4月  | 99.00 | 93.37 | 83.35 | 81.50 | 97.70  |
| 5月  | 96.03 | 91.76 | 81.26 | 78.72 | 101.08 |
| 6月  | 96.30 | 90.92 | 80.52 | 79.32 | 97.33  |
| 7月  | 96.52 | 87.70 | 79.40 | 78.98 | 99.75  |
| 8月  | 94.84 | 85.47 | 77.22 | 78.66 | 97.87  |
| 9月  | 91.49 | 84.39 | 76.83 | 78.17 | 99.28  |
| 10月 | 90.29 | 81.86 | 76.77 | 78.97 | 97.82  |
| 11月 | 89.19 | 82.48 | 77.58 | 80.79 | 99.79  |
| 12月 | 89.56 | 83.43 | 77.86 | 83.58 | 103.41 |
| 年平均 | 93.70 | 87.78 | 79.81 | 79.71 | 97.60  |

本研究では、物流コストと CO<sub>2</sub> 排出量の削減効果を検討しているが、両者を総合的に判断する必要がある。そこで、排出権取引価格から CO<sub>2</sub> 排出量を貨幣換算した。参考文献(20)によると、CO<sub>2</sub> 換算トン(t-CO<sub>2</sub>)あたり 15€であった。また、€と USD の為替レートは 2010 年の年間平均値を算出し、1USD あたり 1.33 €とした。



## 5.6 第5章に関する参考文献

- (1) 国土交通省：報道資料投資ファンドについて
- (2) 新日本有限責任監査法人：業種別会計シリーズ海運業，2010.10.30
- (3) 稲垣純男：海運業会計，中央経済社，1991.03.30
- (4) 鈴木理沙：定期船・不定期船を対象とした外航海運におけるCO<sub>2</sub>排出量の削減策に関する研究，東京海洋大学博士後期課程・博士論文，2014.03
- (5) 赤倉康寛・瀬間基広：我が国へのドライバルク貨物輸送の効率化に向けた一考察，国土技術政策総合研究所研究報告書，No.560，pp2-46，2010.01
- (6) Shun CHEN・Koos FROUWS・Eddy Van de VOORDE：Technical Changes and Impacts on Economic Performance of Dry Bulk Vessels, Maritime Policy and Management, Vol/37, No.3, 2010.05, pp305-327
- (7) 公益財団法人日本海事センター：我が国外航海運業界から見た我が国造船業の現状と課題に関する調査報告書，2012.05
- (8) 黒川久幸・鶴田三郎・嶋邦彦：海上コンテナ輸送ネットワークの設計に関する研究，日本航海学会論文集，No.101，pp259-269，1999.09
- (9) 平岡克英・亀山道弘：LCA 解析のための外航貨物船の運航状況分析と海上輸送の大気環境負荷物質の排出係数，海上技術安全研究所報告第5巻3号，pp25-90，2005.10
- (10) 財団法人シップ・アンド・オーシャン財団：船舶からの温室効果ガス(CO<sub>2</sub>等)の排出削減に関する調査研究報告書，pp10-33，2000.03
- (11) 一般財団法人省エネルギーセンター：エネルギー使用量の原油換算方法「原油換算表」，<https://www.eccj.or.jp/law/pamph/outline/04-5.html>，最終アクセス2015.07.01
- (12) 株式会社交通日本社：全国港湾関係施設使用料「貨物運賃と各種料金」，株式会社交通日本社，2008.11.20，pp3-319
- (13) 石油連盟：換算係数一覧，<http://www.paj.gr.jp/statis/kansan/>，最終アクセス2015.07.13
- (14) 日本長距離フェリー協会：燃料油価格推移表(平成6年度から平成27年度)，<http://www.jlcferry.jp/nenryouyu.html>，最終アクセス2015.07.13
- (15) 公益社団法人日本港湾協会：港湾物流情報「港湾諸料金比較」，[http://www.phaj.or.jp/distribution\\_2014/14port/price.html](http://www.phaj.or.jp/distribution_2014/14port/price.html)，最終アクセス2015.07.14
- (16) 大阪湾水先区水先会：曳船使用基準，<http://www.osakawanpilot.jp/order/index.php?page=12>，最終アクセス2014.06.08
- (17) 一般社団法人日本舶用工業会：舶用工業製品統計月報，<http://www.jsmea.or.jp/senyo/index.html>，最終アクセス2015.07.14
- (18) 社団法人日本船主協会：日本海運の現状2013，<http://www.jsanet.or.jp/data/data.html#genjou>，最終アクセス2014.06.10

(19) 株式会社 FREELABO : 世界経済,

<[http://ecodb.net/exchange/usd\\_jpy.html](http://ecodb.net/exchange/usd_jpy.html)>, 最終アクセス 2015.07.01

(20) みずほ情報総研 : 排出権取引市場, <<http://www.mizuho-ir.co.jp/publication/contribution/2010/economist100208.html>>, 最終アクセス 2015.07.01

## 第6章 分析対象とデータ

### 6.1 分析対象

日本は鉄鉱石を1億3,432万トン/年(2010年)<sup>(1)</sup>輸入している。このうち、オーストラリアから7,790万トン/年、ブラジルから3,029万トン/年の鉄鉱石を輸入している<sup>(2)</sup>。そして、国内の港で比較を行うと、最も輸入量が多いのは木更津港で、1,567万トン/年が荷揚げされている。

第2章と第3章で述べたが、木更津港は鉄鉱石の国際バルク戦略港湾として選定されており、オーストラリアのPort Walcott 港(288万トン/年)やブラジルの Sepetiba 港(252万トン/年)からの輸入量が多い<sup>(3)(4)</sup>。特にブラジルの Sepetiba 港は大水深岸壁を有しており、船舶の大型化の有力な候補となる港である。そこで本研究では、木更津港と Sepetiba 港の間における鉄鉱石輸入を対象に、基本となる需要量(輸送需要量)や航海距離などを設定する。

2.2.3 で述べた通り、ブラジルから木更津港へ入港する一般バルク船及び鉄鉱石専用船の平均船型は約19万DWTであった。故に、基本船型を20万DWTとした。

2.4 でも述べたが、世界的に大型化が進んでいる船舶で貨物を輸送する場合、貨物を保管する能力不足などが度々問題となっている。そこで、本研究では、一回で荷揚げ出来る貨物量に制約を加えている。ブラジルから日本の各荷揚港に入港する船舶の船型は約17万DWT、各積出港から木更津港に入港する船舶は約13万DWTであった。そこで、1回あたりに荷揚げ出来る貨物量を15万トンとして、年間寄港回数に制約を加えた。

以上の事を考慮し、分析の基本条件を以下に記す。

需要量：年間300万トン

航海距離：1.2万NM

船型：20万DWT

寄港回数：20回/年(荷揚げ量の上限：15万トン)



## 6.2 分析内容

鉄鉱石の積出港から国内の荷揚港までの輸入を対象に下記の項目、(1)～(5)の感度分析を行う。そして、この結果を基にいくつかの運航パターンを設定し、比較分析から望ましい運航パターンを検討する。分析内容は下記の通りである。

- (1) 船型の大型化の影響
- (2) 連携港湾数の影響
- (3) 連携港湾間の航海距離の影響
- (4) 需要量の影響
- (5) 航海距離の影響

物流コスト及び CO<sub>2</sub> 排出量は、様々な要因により変化する。その各要因の影響度合いを定量的に分析するため、パラメータが変化した場合に結果にどのような影響を及ぼすか、また、その傾向を知るために感度分析を用いた。

まず、分析(1)は、船型を1万 DWT から40万 DWT まで、5千 DWT ずつ大型化を行っていった場合に与える影響を分析する。これは、大型船の導入にあたり、定量的な分析から、国際バルク戦略港湾政策の実現化にあたり、目標とする船舶の船型を提言するためである。また、今後の意思決定に役立てるためでもある。

分析(4)では輸送量が増加した場合の分析であり、荷揚港の需要量を変化させる。これは、一度に目標船型の船舶を建造する事は不可能であるため、需要量による影響を明らかにし、どの航路(港湾間)から推進すべきか検討するためである。更に、今後、産地や各荷揚港の需要量が増加した場合にも対応出来るようにする事が狙いである。

分析(5)は、積出港と荷揚港間の航海距離を変化させた場合の影響を分析する(図 6.2-1)。これも(4)と同様に、大型船の導入をどの航路から進めていくべきか検討するためである。

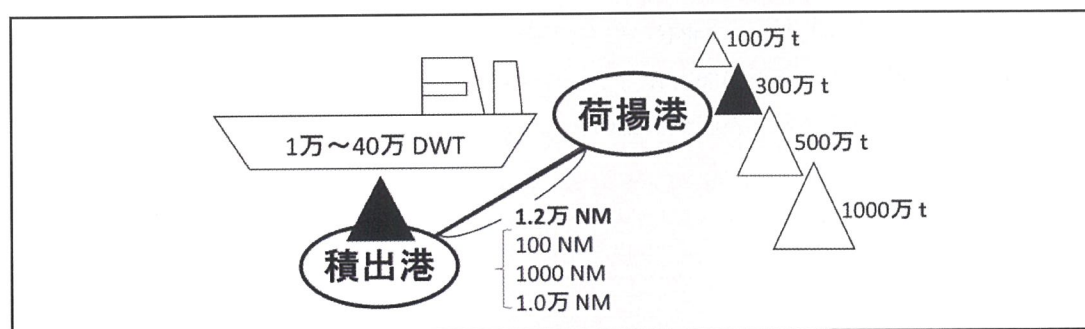


図 6.2-1 船型・需要量・航海距離の感度分析

分析(2)では、日本に鉄鉱石の荷揚港が複数港存在するため、荷揚港数を変化させた(図 6.2-2)。第2章で述べた通り、国際バルク戦略港湾政策では、木更津港をファーストポートとし、他の港湾と連携を

図る事や、水島港をハブ港化する事が挙げられている。そこで、荷揚港数を1港、2港、3港と変化させて分析を行った。また、一般バルク船及び鉄鉱石専用船の航海士からヒアリング調査をした所、荷揚港数は1〜3港である事が多いという結果を得たため、荷揚港を上述した通りに設定した。使用する隣り合う連携港湾間の航海距離を、木更津港—下津港間(316NM)や木更津港—東播磨港間(363NM)などの航海距離<sup>(5)</sup>を参考に、300NMを基準とした。

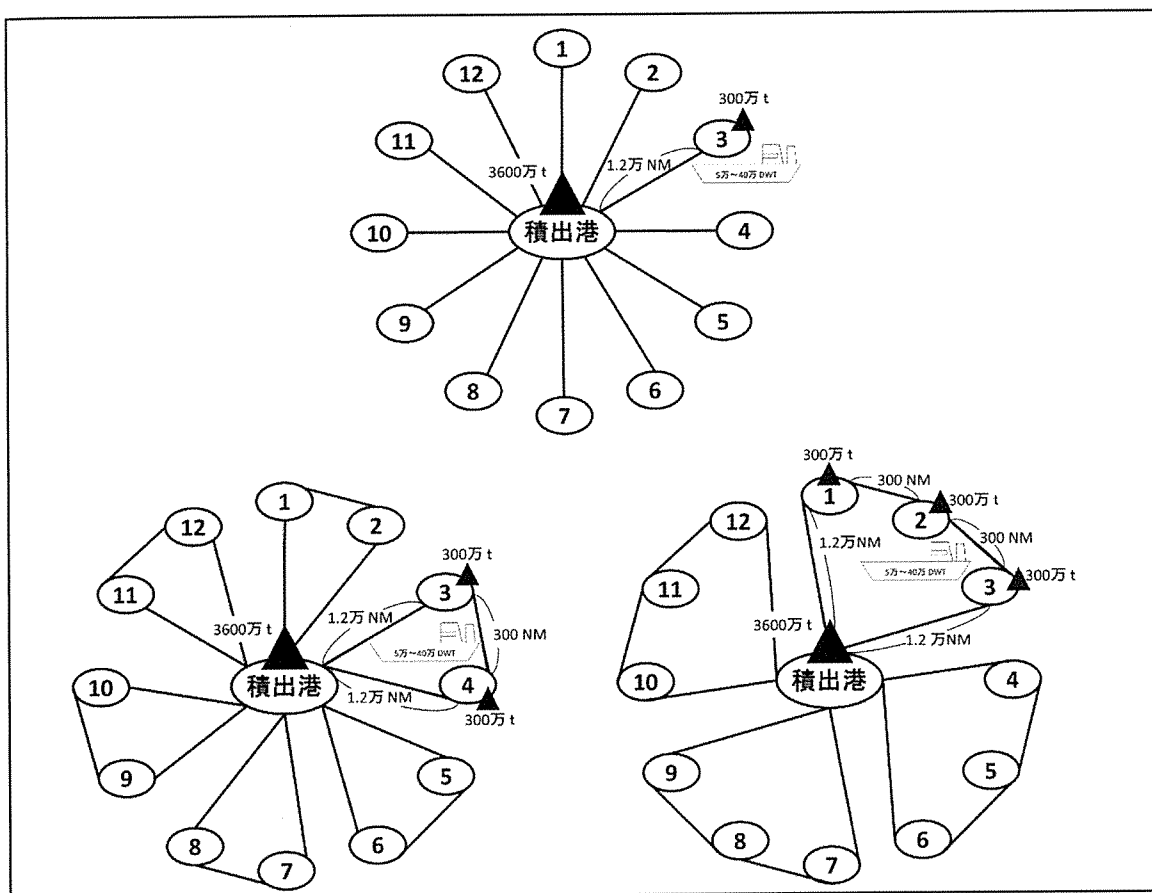


図 6.2-2 連携港湾数(荷揚港数)の感度分析

更に、分析(3)では、連携港湾間の航海距離を変化させた分析を行った(図 6.2-3)。国際バルク戦略港湾政策では、複数の港湾を連携港湾として挙げているが、具体的に連携すべき港湾などは提案されていない。そこで、連携港湾間の航海距離を変化させ、どのような港湾を連携させるべきか考察する。

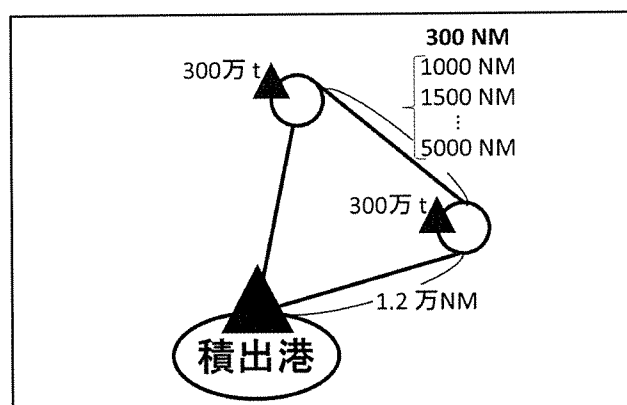


図 6.2-3 連携港湾間の後悔距離の感度分析

なお、分析(1)(2)(4)においては、1回に荷揚げ可能な貨物量に制約を加えた場合の分析を行う。これは、保管場所に限度があるためである。



## 6.3 分析で用いるデータ

### 6.3.1 需要量と航海距離

6.3.1 節では、分析で用いる需要量と航海距離について説明する。表 6.3-1 は、需要量と航海距離を纏めたものである。

鉄鉱石の貨物輸送量は、参考文献(3)(4)を用いて、ブラジルの Sepetiba 港から日本の各港湾の年間需要量を参考にした。

分析(1)から(3)と(5)では、Sepetiba 港－木更津港の 252 万トン/年、Sepetiba 港－大分港の 233 万トン/年を参考に 300 万トンを基本として分析した。分析(6)では、各荷揚港の需要量から算出した。

分析(4)においては、需要量を 100 万トン、300 万トン、600 万トン、900 万トンの場合の分析を行った。100 万トンは Sepetiba 港－名古屋港間の需要量(97 万トン/年)、900 万トンは Sepetiba 港－全荷揚港(1,103 万トン/年)に相当する。

積出港－荷揚港間においても、Sepetiba 港－木更津港などの航海距離を参考に、12,000NM とした。

分析(5)では、港湾間の距離を 1,000NM、3,000NM、6,000NM、12,000NM とした場合の分析を行った。1,000NM は北海道から九州、6,000NM は日本からオーストラリア南部程度の距離である。

分析(6)では、表 6.3-1 及び表 6.3-2 の積出港－荷揚港の各航海距離を用いている。

複数の連携港湾を用いた分析(2)では、木更津港と他荷揚港間の航海距離を参考にした。平均値が約 330NM であったのと、木更津港－下津港間の 316NM、木更津港－東播磨港間の 336NM を参考に、基本形を 300NM として設定した。

分析(3)では、連携港湾間の航海距離を、30NM、60NM、90NM、120NM、300NM、600NM、900NM、1200NM と変化させた場合の分析を行っている。木更津港－千葉港間が 20NM、木更津港－室蘭港・大分港間が 600NM、木更津港－釜山港間が 900NM である。千葉港、室蘭港、大分港は木更津港が連携港湾として掲げている港湾である。韓国の釜山港は、鉄鉱石や石炭の中継基地があり、連携を想定して分析した。

需要量や港湾間の距離を変化させた分析では、需要量が増えた場合の傾向を把握し、船型の大型化を進めるにあたり、どこの港湾間から大型化を進めていくべきか検討する。また、将来的に各積出港からの輸送量や産出される鉄鉱石の量、荷揚港の需要量が増えた場合にも、必要となる船型の予測などを可能となる。

表 6.3-1 積出港－荷揚港間の需要量と航海距離<sup>(3) (4) (5) (6)より作成</sup>

| 積出港                 | 荷揚港   | 需要量<br>(ton/年) | 航海距離<br>(NM) |
|---------------------|-------|----------------|--------------|
| Sepetiba,<br>Brazil | 室蘭    | 144,851        | 12,732       |
|                     | 鹿島    | 648,910        | 12,335       |
|                     | 千葉    | 214,097        | 12,244       |
|                     | 川崎    | 315,865        | 12,244       |
|                     | 木更津   | 2,521,018      | 12,236       |
|                     | 名古屋   | 970,462        | 12,142       |
|                     | 和歌山下津 | 183,953        | 12,016       |
|                     | 東播磨   | 1,208,315      | 12,090       |
|                     | 水島    | 744,312        | 12,004       |
|                     | 福山    | 652,188        | 11,984       |
|                     | 呉     | 572,321        | 11,959       |
|                     | 大分    | 2,327,723      | 11,905       |
|                     | 北九州   | 528,639        | 11,970       |

表 6.3-2 各荷揚港間の航海距離<sup>(5) (6)より作成</sup>

|     | 室蘭   | 鹿島  | 千葉  | 川崎  | 木更津 | 名古屋 | 下津  | 東播磨 | 水島  | 福山  | 呉   | 大分  | 北九州  |
|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| 室蘭  | —    | 405 | 555 | 545 | 550 | 671 | 794 | 829 | 856 | 969 | 925 | 836 | 1254 |
| 鹿島  | 405  | —   | 156 | 143 | 138 | 271 | 388 | 435 | 486 | 503 | 584 | 561 | 625  |
| 千葉  | 545  | 156 | —   | 18  | 10  | 214 | 331 | 378 | 429 | 446 | 527 | 504 | 568  |
| 川崎  | 545  | 143 | 18  | —   | 5   | 204 | 321 | 368 | 419 | 436 | 517 | 494 | 558  |
| 木更津 | 545  | 138 | 10  | 5   | —   | 199 | 316 | 363 | 414 | 431 | 512 | 489 | 553  |
| 名古屋 | 671  | 271 | 214 | 204 | 199 | —   | 193 | 241 | 291 | 309 | 389 | 467 | 432  |
| 下津  | 794  | 388 | 321 | 321 | 316 | 193 | —   | 52  | 102 | 120 | 200 | 230 | 270  |
| 東播磨 | 829  | 435 | 368 | 368 | 363 | 223 | 34  | —   | 72  | 76  | 157 | 187 | 226  |
| 水島  | 856  | 486 | 419 | 419 | 414 | 291 | 102 | 72  | —   | 21  | 104 | 134 | 173  |
| 福山  | 969  | 503 | 436 | 436 | 431 | 309 | 120 | 76  | 21  | —   | 86  | 116 | 155  |
| 呉   | 925  | 584 | 517 | 517 | 512 | 389 | 200 | 157 | 104 | 86  | —   | 80  | 116  |
| 大分  | 836  | 561 | 504 | 494 | 489 | 467 | 230 | 187 | 134 | 116 | 80  | —   | 109  |
| 北九州 | 1254 | 625 | 568 | 558 | 553 | 432 | 270 | 244 | 173 | 155 | 116 | 109 | —    |

### 6.3.2 船速と総航海時間

6.3.2 節では、算出する際の航海速度に関して述べる。

参考文献(7)では、空荷状態が 14.0～14.5knot、満載状態が 13.7～14.0knot であった。これを参考に、本研究では、空船時の船速を 14.3knot、満載時の船速を 13.9knot とした(表 6.3-3)。

また、感度分析の荷揚港の対象とした木更津港に入港する際には、浦賀水道航路を航行する。そこで、海上交通安全法を参考に、港湾内の船速を平均 12.0knot とした(表 6.3-4)。

入出港にかかる時間は、木更津港のヒアリング調査結果を参照する。入港する船舶が 20 万 DWT 程度の場合、入出港にかかる時間は 2.5～3 時間、荷役時間は 3.5 日とされている。この結果を元に、船型毎に比例計算して求めた。

総航海時間は、航海距離を上記の船速で除した時間と、入出港及び荷役などにかかる時間を加算した時間である。

表 6.3-3 空荷状態と満載状態時の船速<sup>(7)</sup>より作成

|        | 状態     | 船速(knot) |
|--------|--------|----------|
| 撒積貨物船1 | 空荷     | 14.0     |
|        | 満載     | 13.7     |
|        | 積載     | 12.6     |
|        | 平均     | 13.3     |
| 撒積貨物船2 | 空荷     | 14.5     |
|        | 満載     | 14.0     |
|        | 積載     | 13.2     |
|        | 平均     | 13.8     |
| 本研究    | 空荷(往航) | 14.3     |
|        | 満載(復航) | 13.9     |

表 6.3-4 海上交通安全法による速度規制 (12.0knot 以下)

| 航路名     | 航路距離(NM) | 関連港湾名   |
|---------|----------|---------|
| 中ノ瀬航路   | 5.7      | 千葉、川崎、  |
| 浦賀水道航路  | 8.1      | 木更津     |
| 伊良湖水道航路 | 2.1      | 名古屋     |
| 水島航路    | 5.4      | 水島      |
| 備讃瀬戸東航路 | 20.1     | 水島、福山、呉 |
| 備讃瀬戸北航路 | 11.8     |         |
| 備讃瀬戸南航路 | 12.6     |         |



### 6.3.3 各船型における必要水深と港湾の水深

物流コスト及び CO<sub>2</sub> 排出量を削減するため、船型の大型化を図る。削減効果のあった船型と現状の水深を比較し、入港可能な船舶が検討する必要がある。また、浚渫工事などが必要な場合、水深をどのような深さにするか目安が必要である。

表 6.3-5 から表 6.3-7 は、載貨重量(DWT)と船舶の諸元を算出する際に参考にしたものである。参考文献(8)による、載貨重量トン数、総トン数、排水トンの関係式などを示す。

表 6.3-5 貨物船の主要諸元<sup>(8)より引用</sup>

| 載貨重量トン数 DWT<br>(トン) | 全長 $L_{oa}$<br>(m) | 垂線間長 $L_{pp}$<br>(m) | 型幅 $B$<br>(m) | 満載喫水 $d$<br>(m) |
|---------------------|--------------------|----------------------|---------------|-----------------|
| 1,000               | 67                 | 61                   | 10.7          | 3.8             |
| 2,000               | 82                 | 75                   | 13.1          | 4.8             |
| 3,000               | 92                 | 85                   | 14.7          | 5.5             |
| 5,000               | 107                | 99                   | 17.0          | 6.4             |
| 10,000              | 132                | 123                  | 20.7          | 8.1             |
| 12,000              | 139                | 130                  | 21.8          | 8.6             |
| 18,000              | 156                | 147                  | 24.4          | 9.8             |
| 30,000              | 182                | 171                  | 28.3          | 10.5            |
| 40,000              | 198                | 187                  | 30.7          | 11.5            |
| 55,000              | 217                | 206                  | 32.3          | 12.8            |
| 70,000              | 233                | 222                  | 32.3          | 13.8            |
| 90,000              | 251                | 239                  | 38.7          | 15.0            |
| 120,000             | 274                | 261                  | 42.0          | 16.5            |
| 150,000             | 292                | 279                  | 44.7          | 17.7            |

表 6.3-6 排水トン数(DSP)と載貨重量トン数(DWT)及び総トン数(GT)<sup>(8)より引用</sup>

| 船種      | 回帰式             | 決定係数 $R^2$ | 標準偏差 $\sigma$ |
|---------|-----------------|------------|---------------|
| 貨物船     | DSP = 1.1389DWT | 0.998      | 2,234         |
| コンテナ船   | DSP = 1.3443DWT | 0.992      | 2,668         |
| タンカー    | DSP = 1.1375DWT | 0.992      | 8,743         |
| RORO 船  | DSP = 0.8802GT  | 0.803      | 4,863         |
| PCC 船   | DSP = 0.6523GT  | 0.917      | 3,565         |
| LPG 船   | DSP = 1.1139GT  | 0.912      | 10,199        |
| LNG 船   | DSP = 1.0145GT  | 0.884      | 8,641         |
| 旅客船     | DSP = 0.5215GT  | 0.957      | 2,745         |
| 中距離フェリー | DSP = 1.0521GT  | 0.886      | 1,688         |
| 長距離フェリー | DSP = 1.1494GT  | 0.836      | 1,716         |

表 6.3-7 載貨重量トン数(DWT)と総トン数(GT) <sup>(8)より引用</sup>

| 船種      | 回帰式              | 決定係数 $R^2$ | 標準偏差 $\sigma$ |
|---------|------------------|------------|---------------|
| 貨物船     | $GT = 0.5285DWT$ | 0.988      | 2,202         |
| コンテナ船   | $GT = 0.8817DWT$ | 0.971      | 3,735         |
| タンカー    | $GT = 0.5354DWT$ | 0.992      | 4,276         |
| RORO 船  | $GT = 1.7689DWT$ | 0.756      | 6,839         |
| PCC 船   | $GT = 2.7144DWT$ | 0.869      | 7,437         |
| LPG 船   | $GT = 0.8447DWT$ | 0.988      | 1,513         |
| LNG 船   | $GT = 1.3702DWT$ | 0.819      | 12,439        |
| 旅客船     | $GT = 8.9393DWT$ | 0.862      | 12,285        |
| 中距離フェリー | $GT = 2.1457DWT$ | 0.833      | 1,251         |
| 長距離フェリー | $GT = 2.3517DWT$ | 0.816      | 1,988         |

表 6.3-8 は、参考文献(9)(10)やヒアリング調査結果を元に現状を纏めたものである。また、表 6.3-8 は、参考文献(11)から船型毎の必要水深や航路幅などを算出し、纏めたものである。なお、うねりや波浪などに対して必要となる水深は、下記の式より算出した。

- ① うねり等の波浪の影響が想定されない港内等の航路 :  $D = 1.10d$
- ② うねり等の波浪の影響が想定される港外の航路 :  $D = 1.15d$
- ③ 強いうねり等が想定される外洋等の航路 :  $D = 1.20d$

D : 航路水深(m)

d : 対象船舶の係船状態における最大喫水(m)

表 6.3-8 荷揚港の水深 <sup>(9)(10)より作成</sup>

| 荷揚港  | 水深(-m) |      |
|------|--------|------|
|      | 航路     | 岸壁   |
| 室蘭港  | 16.5   | 19.0 |
| 鹿島港  | 22.0   | 19.0 |
| 千葉港  | 12.0   | 18.0 |
| 木更津港 | 23.0   | 19.0 |
| 川崎港  | 12.0   | 22.0 |
| 名古屋港 | 15.0   | 14.0 |
| 下津港  | 14.0   | 14.0 |
| 東播磨港 | 17.0   | 10.0 |
| 水島港  | 17.0   | 12.0 |
| 福山港  | 18.0   | 20.0 |
| 呉港   | -      | 18.0 |
| 大分港  | -      | 14.0 |
| 北九州港 | 17.0   | 17.0 |

表 6.3-9 船型毎の必要水深<sup>(11)</sup>より作成

| 載貨重量<br>(DWT) | 最大喫水<br>d (m) | 船長<br>Loa (m) | 幅<br>B (m) | 必要水深 D (m)                 |                           |                             |
|---------------|---------------|---------------|------------|----------------------------|---------------------------|-----------------------------|
|               |               |               |            | うねり等の波浪影響が<br>想定されない港内等の航路 | うねり等の波浪影響が<br>想定される港外等の航路 | 強いうねり等の波浪影響が<br>想定される外洋等の航路 |
| 300           | 1.00          | 5.00          | 5.00       | 0.91                       | 0.87                      | 0.83                        |
| 400           | 1.50          | 10.00         | 6.00       | 1.36                       | 1.30                      | 1.25                        |
| 500           | 2.00          | 20.00         | 7.00       | 1.82                       | 1.74                      | 1.67                        |
| 600           | 2.50          | 30.00         | 8.00       | 2.27                       | 2.17                      | 2.08                        |
| 700           | 3.00          | 40.00         | 9.00       | 2.73                       | 2.61                      | 2.50                        |
| 800           | 3.50          | 50.00         | 10.00      | 3.18                       | 3.04                      | 2.92                        |
| 900           | 4.00          | 60.00         | 11.00      | 3.64                       | 3.48                      | 3.33                        |
| 1000          | 4.50          | 70.00         | 12.00      | 4.09                       | 3.91                      | 3.75                        |
| 2000          | 5.00          | 80.00         | 13.00      | 4.55                       | 4.35                      | 4.17                        |
| 3000          | 5.50          | 90.00         | 15.00      | 5.00                       | 4.78                      | 4.58                        |
| 4000          | 6.00          | 100.00        | 17.00      | 5.45                       | 5.22                      | 5.00                        |
| 5000          | 6.50          | 110.00        | 18.00      | 5.91                       | 5.65                      | 5.42                        |
| 8000          | 7.00          | 120.00        | 19.00      | 6.36                       | 6.09                      | 5.83                        |
| 10000         | 7.50          | 130.00        | 20.00      | 6.82                       | 6.52                      | 6.25                        |
| 11000         | 8.00          | 135.00        | 21.00      | 7.27                       | 6.96                      | 6.67                        |
| 12000         | 8.50          | 140.00        | 22.00      | 7.73                       | 7.39                      | 7.08                        |
| 15000         | 9.00          | 150.00        | 23.00      | 8.18                       | 7.83                      | 7.50                        |
| 20000         | 9.50          | 160.00        | 24.00      | 8.64                       | 8.26                      | 7.92                        |
| 25000         | 10.00         | 170.00        | 25.00      | 9.09                       | 8.70                      | 8.33                        |
| 30000         | 10.50         | 180.00        | 28.00      | 9.55                       | 9.13                      | 8.75                        |
| 35000         | 11.00         | 190.00        | 29.00      | 10.00                      | 9.57                      | 9.17                        |
| 40000         | 11.50         | 200.00        | 30.00      | 10.45                      | 10.00                     | 9.58                        |
| 45000         | 12.00         | 210.00        | 30.50      | 10.91                      | 10.43                     | 10.00                       |
| 50000         | 12.50         | 215.00        | 31.00      | 11.36                      | 10.87                     | 10.42                       |
| 55000         | 13.00         | 220.00        | 31.50      | 11.82                      | 11.30                     | 10.83                       |
| 60000         | 13.50         | 225.00        | 32.00      | 12.27                      | 11.74                     | 11.25                       |
| 70000         | 14.00         | 230.00        | 33.00      | 12.73                      | 12.17                     | 11.67                       |
| 80000         | 14.50         | 240.00        | 35.00      | 13.18                      | 12.61                     | 12.08                       |
| 90000         | 15.00         | 250.00        | 39.00      | 13.64                      | 13.04                     | 12.50                       |
| 100000        | 15.50         | 260.00        | 40.00      | 14.09                      | 13.48                     | 12.92                       |
| 110000        | 16.00         | 265.00        | 41.00      | 14.55                      | 13.91                     | 13.33                       |
| 120000        | 16.50         | 270.00        | 42.00      | 15.00                      | 14.35                     | 13.75                       |
| 130000        | 17.00         | 280.00        | 42.50      | 15.45                      | 14.78                     | 14.17                       |
| 140000        | 17.50         | 290.00        | 43.00      | 15.91                      | 15.22                     | 14.58                       |
| 150000        | 18.00         | 300.00        | 43.50      | 16.36                      | 15.65                     | 15.00                       |
| 170000        | 18.50         | 310.00        | 44.20      | 16.82                      | 16.09                     | 15.42                       |
| 190000        | 19.00         | 320.00        | 44.30      | 17.27                      | 16.52                     | 15.83                       |
| 210000        | 19.50         | 330.00        | 44.50      | 17.73                      | 16.96                     | 16.25                       |
| 230000        | 20.00         | 340.00        | 45.19      | 18.18                      | 17.39                     | 16.67                       |
| 250000        | 20.50         | 350.00        | 45.63      | 18.64                      | 17.83                     | 17.08                       |
| 270000        | 21.00         | 355.00        | 46.06      | 19.09                      | 18.26                     | 17.50                       |
| 290000        | 21.50         | 360.00        | 46.50      | 19.55                      | 18.70                     | 17.92                       |
| 310000        | 22.00         | 365.00        | 46.94      | 20.00                      | 19.13                     | 18.33                       |
| 330000        | 22.50         | 370.00        | 47.38      | 20.45                      | 19.57                     | 18.75                       |
| 360000        | 23.00         | 375.00        | 47.82      | 20.91                      | 20.00                     | 19.17                       |
| 400000        | 23.50         | 380.00        | 48.26      | 21.36                      | 20.43                     | 19.58                       |



表 6.3-10 船型毎の航路幅<sup>(11)</sup>より作成

| 載貨重量<br>(DWT) | 最大喫水<br>d (m) | 船長<br>Loa (m) | 幅<br>B (m) | 航路幅目安 RB (m)                      |                                    |
|---------------|---------------|---------------|------------|-----------------------------------|------------------------------------|
|               |               |               |            | 航路の距離が比較的長い場合<br>又は 航路内を頻繁に行き会う場合 | 船舶同士が航路を頻繁に行き会い<br>且つ 航路距離が比較的長い場合 |
| 300           | 1.00          | 5.00          | 5.00       | 7.50                              | 10.00                              |
| 400           | 1.50          | 10.00         | 6.00       | 15.00                             | 20.00                              |
| 500           | 2.00          | 20.00         | 7.00       | 30.00                             | 40.00                              |
| 600           | 2.50          | 30.00         | 8.00       | 45.00                             | 60.00                              |
| 700           | 3.00          | 40.00         | 9.00       | 60.00                             | 80.00                              |
| 800           | 3.50          | 50.00         | 10.00      | 75.00                             | 100.00                             |
| 900           | 4.00          | 60.00         | 11.00      | 90.00                             | 120.00                             |
| 1000          | 4.50          | 70.00         | 12.00      | 105.00                            | 140.00                             |
| 2000          | 5.00          | 80.00         | 13.00      | 120.00                            | 160.00                             |
| 3000          | 5.50          | 90.00         | 15.00      | 135.00                            | 180.00                             |
| 4000          | 6.00          | 100.00        | 17.00      | 150.00                            | 200.00                             |
| 5000          | 6.50          | 110.00        | 18.00      | 165.00                            | 220.00                             |
| 8000          | 7.00          | 120.00        | 19.00      | 180.00                            | 240.00                             |
| 10000         | 7.50          | 130.00        | 20.00      | 195.00                            | 260.00                             |
| 11000         | 8.00          | 135.00        | 21.00      | 202.50                            | 270.00                             |
| 12000         | 8.50          | 140.00        | 22.00      | 210.00                            | 280.00                             |
| 15000         | 9.00          | 150.00        | 23.00      | 225.00                            | 300.00                             |
| 20000         | 9.50          | 160.00        | 24.00      | 240.00                            | 320.00                             |
| 25000         | 10.00         | 170.00        | 25.00      | 255.00                            | 340.00                             |
| 30000         | 10.50         | 180.00        | 28.00      | 270.00                            | 360.00                             |
| 35000         | 11.00         | 190.00        | 29.00      | 285.00                            | 380.00                             |
| 40000         | 11.50         | 200.00        | 30.00      | 300.00                            | 400.00                             |
| 45000         | 12.00         | 210.00        | 30.50      | 315.00                            | 420.00                             |
| 50000         | 12.50         | 215.00        | 31.00      | 322.50                            | 430.00                             |
| 55000         | 13.00         | 220.00        | 31.50      | 330.00                            | 440.00                             |
| 60000         | 13.50         | 225.00        | 32.00      | 337.50                            | 450.00                             |
| 70000         | 14.00         | 230.00        | 33.00      | 345.00                            | 460.00                             |
| 80000         | 14.50         | 240.00        | 35.00      | 360.00                            | 480.00                             |
| 90000         | 15.00         | 250.00        | 39.00      | 375.00                            | 500.00                             |
| 100000        | 15.50         | 260.00        | 40.00      | 390.00                            | 520.00                             |
| 110000        | 16.00         | 265.00        | 41.00      | 397.50                            | 530.00                             |
| 120000        | 16.50         | 270.00        | 42.00      | 405.00                            | 540.00                             |
| 130000        | 17.00         | 280.00        | 42.50      | 420.00                            | 560.00                             |
| 140000        | 17.50         | 290.00        | 43.00      | 435.00                            | 580.00                             |
| 150000        | 18.00         | 300.00        | 43.50      | 450.00                            | 600.00                             |
| 170000        | 18.50         | 310.00        | 44.20      | 465.00                            | 620.00                             |
| 190000        | 19.00         | 320.00        | 44.30      | 480.00                            | 640.00                             |
| 210000        | 19.50         | 330.00        | 44.50      | 495.00                            | 660.00                             |
| 230000        | 20.00         | 340.00        | 45.19      | 510.00                            | 680.00                             |
| 250000        | 20.50         | 350.00        | 45.63      | 525.00                            | 700.00                             |
| 270000        | 21.00         | 355.00        | 46.06      | 532.50                            | 710.00                             |
| 290000        | 21.50         | 360.00        | 46.50      | 540.00                            | 720.00                             |
| 310000        | 22.00         | 365.00        | 46.94      | 547.50                            | 730.00                             |
| 330000        | 22.50         | 370.00        | 47.38      | 555.00                            | 740.00                             |
| 360000        | 23.00         | 375.00        | 47.82      | 562.50                            | 750.00                             |
| 400000        | 23.50         | 380.00        | 48.26      | 570.00                            | 760.00                             |

#### 6.4 第6章に関する参考文献

- (1) 財務省：財務省貿易統計(過去の報道発表資料 2010 年分資料),  
<<http://www.customs.go.jp/toukei/shinbun/happyou.htm>>, 最終アクセス 2015.07.01
- (2) 日本港湾協会(港湾政策研究所)：港湾物流情報,  
<[https://www.phaj.or.jp/distribution\\_2014/sitemap/index.html](https://www.phaj.or.jp/distribution_2014/sitemap/index.html)>, 最終アクセス  
2015.07.01
- (3) 国土交通省：港湾統計(平成 22 年度分年報), <<http://www.mlit.go.jp/k-toukei/search/excelhtml/01/01201000a00000.html>>, 最終アクセス 2015.07.01
- (4) Informa Group Plc Ltd. (Lloyd's Marine Intelligence Unit): Bulk and Tanker Vessel  
Movement Datamase 2010 (船舶動静データ), 2010
- (5) 海上保安庁：書誌第 405 号『距離表』, 1995.06
- (6) 日本航海士会：World-Wide Distance Chart 世界港間距離表, 海文堂, 日本船長協会監修,  
2011.01.05
- (7) 平岡克英・亀山道弘：LCA 解析のための外航貨物船の運航状況分析と海上輸送の大気環境負荷  
物質の排出係数, 海上技術安全研究所報告第 5 巻 3 号, pp25-90, 2005.10
- (8) 高橋宏直・後藤文子・安部智久(国土技術政策総合研究所)：統計解析による船舶諸元に関する  
研究 ―船舶の主要諸元の計画基準(案)―, 国土技術政策総合研究所研究報告, 第 28 号,  
2006.03
- (9) 国土技術政策総合研究所：貨物船・コンテナ船・タンカーの船舶諸元分析に関する基礎的研究,  
資料 No. 600
- (10) 国土技術政策総合研究所：超大型船に対応した航路幅員計画のためのパラメータの算定, 資料  
No. 696
- (11) 公益社団法人日本航海学会規格委員会国土交通省国土技術政策総合研究所港湾研究部：次世代  
の航路計画基準, pp1-8, 2004
- (12) JAKOTA Cruise Systems GmbH, Rostock. : FleetMon Tracking the Seven Seas,  
<<http://www.fleetmon.com/>>, 最終アクセス 2015.07.01

## 第7章 鉄鉱石の海上輸入を対象とした感度分析

### 7.1 船型の大型化の影響

7.1節では、船舶の船型を1万DWTから40万DWTまで大型化した際に、物流コスト及びCO<sub>2</sub>排出量に与える影響を分析する。更に、1回に荷揚げ可能な貨物量に上限値を設定した検討も行う。これは、貨物の保管場所には限度があるためである。第2章で詳細を述べたが、実際、中国では鉄鉱石の在庫過剰や保管場所不足などが問題となっている。つまり、大型船を用いた一括大量輸送を行っても、貨物を荷揚げ出来なければ大型船を導入する意味がなくなってしまうため、荷揚げ貨物量の上限値設定は必要な項目である。

船型と物流コストの関係を図7.1-1、船型とCO<sub>2</sub>排出量との関係を図7.1-2に示す。図中の青線は港湾における荷揚げ量の制約がない場合を示し、赤線は制約がある場合を示している。

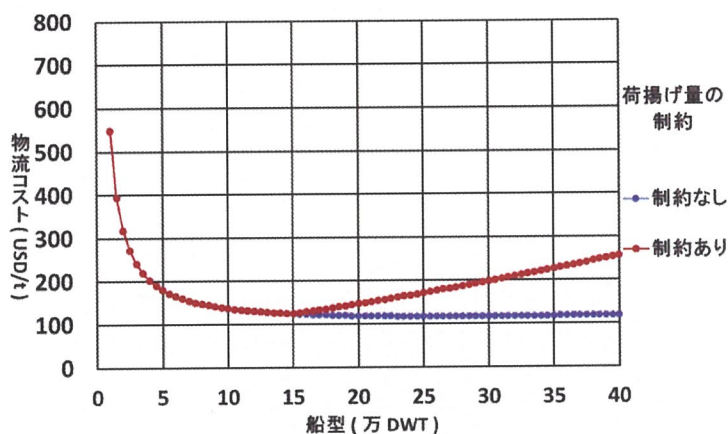


図 7.1-1 船型と物流コストの関係

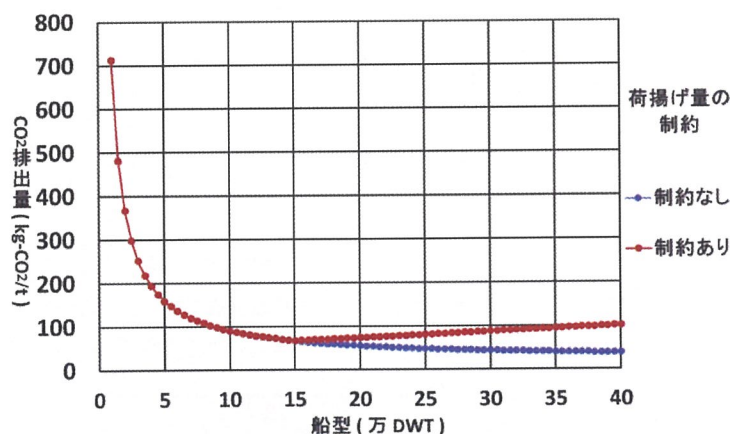


図 7.1-2 船型とCO<sub>2</sub>排出量の関係

まず、制約がない場合から説明する。図から、船舶の船型が大型化するに従って、物流コスト及びCO<sub>2</sub>排出量が低減している事が分かる。これは、大型化による寄港回数及び必要隻数の削減効果による(図



7.1-3)。特に、船型 10 万 DWT 程度までの大型化は非常に削減効果大きい。しかし、船型 20 万 DWT を超えたあたりから低減傾向は緩やかとなり、船型 30 万 DWT を超えるとほぼ横ばいとなっている。

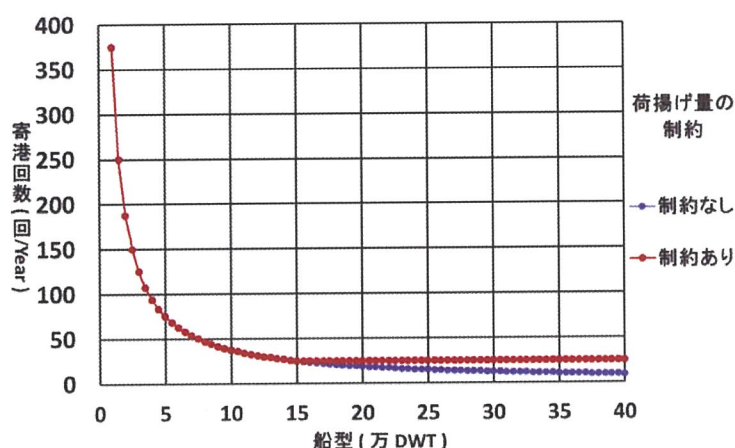


図 7.1-3 船型と寄港回数の関係

第 2 章の現状分析から、鉄鉱石専用船の平均船型は約 20 万 DWT、一般バルク船の平均船型は約 6 万 DWT である事が分かった。そこで、船舶を船型 20 万 DWT から船型 30 万 DWT、船舶を船型 6 万 DWT から船型 10 万 DWT に大型化した場合の物流コストの削減額を示す。前者は-569 万 USD、後者は-8,566 万 USD であり、前者の方が後者よりも削減額が大きい事が分かった。故に、まずは、一般バルク船を船型 10 万 DWT 程度まで大型化をすると良いと言える。また、その際、寄港回数は約 25 回、必要隻数は約 5 隻減少した。

次に、港湾における荷揚げ量の制約がある場合は、物流コスト及び CO<sub>2</sub> 排出量が最小となる望ましい船型が存在している。本研究の条件下では、船型 15 万 DWT 以上となった場合に、上昇している。特に、物流コストの上昇が顕著である。

本来であれば、大型船を用いた場合、寄港回数が減少し、必要隻数も減少する。しかし、荷揚げ量の制約から、積載率が低い状態の大型船を、一定以上の寄港回数を満たすように運航させなければならなくなる。それ故、このように物流コスト及び CO<sub>2</sub> 排出量が増加する事となる。

7.1 節の感度分析から、まずは船型 10 万 DWT (Panamax 船) 程度まで大型化を進めていくべきであると言える。参考文献(1)のデータを分析した結果、鉄鉱石専用船の平均船型は約 20 万 DWT (VLOC 船) で、一般バルク船の平均船型は約 6 万 DWT (Panamax 船) であった。したがって、荷揚げ量の制約がない場合、物流コストを大きく削減するためには、一般バルク船の大型化が有効である。

船型 10 万 DWT 級の船舶では、最低でも-13.0m の水深が必要となる<sup>(2)</sup>。参考文献(1)(3)のデータを分析した結果から、ドライバルクを荷揚げしている港湾の大半は、錨地、航路、岸壁において水深-13.0m 以上を有している事が明らかになった。具体的な岸壁水深は、大分港は-27.0m、木更津港は-19.0m、千葉港や呉港は-18.0m、水島港や福山港は-17.0m、名古屋港や下津港は-14.0m の水深を有している。故に、船型 10 万 DWT 程度までの大型化であれば、入港に差し支えがなく、現実的な値であると言える。

また、荷揚げ量に制約があった場合、ある一定の船型を超えると積載率の低下から物流コストなどが上昇する事が分かった。

## 7.2 連携港湾数の影響

7.2 節では、連携港湾数を変化させた場合に物流コスト及び CO<sub>2</sub> 排出量に与える影響を明らかにする。連携港湾数と物流コスト及び CO<sub>2</sub> 排出量の関係を図 7.2-1 と図 7.2-2 に示す(制約なし)。

図から連携する港湾数が増加するに従って、物流コストなどが増加している事が分かる。これは、荷揚げする度に積載率が低下すると共に、燃料費は船費が増加する影響を受けるためである。

荷揚港数が増加すると、荷揚港間の航海距離分、1 航海あたりの航海距離が増加する。更に、寄港する荷揚港数に貨物を荷揚げする必要がある。本研究では、荷揚港 2 港の場合は貨物量 50% ずつ、荷揚港 3 港の場合は貨物量 33% ずつを各荷揚港に荷揚げする事とした。それ故、荷揚港数が増加すると寄港回数も増加し、年間航海距離と必要隻数が増加する。そのため、それらに比例する燃料費や船費も増加してしまう。

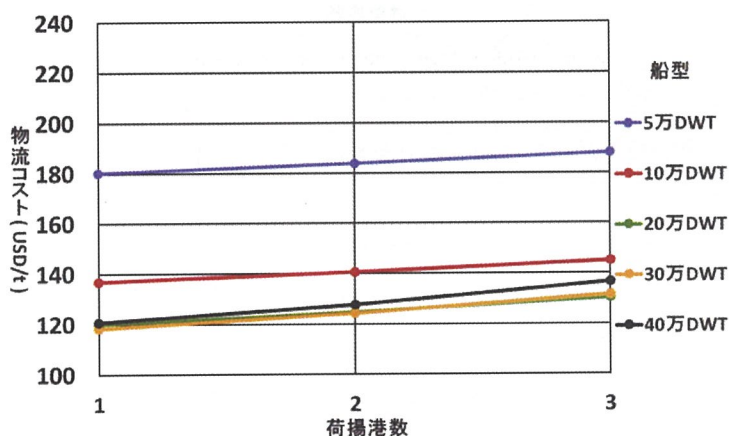


図 7.2-1 連携港湾数、船型と物流コストの関係 (制約なし)

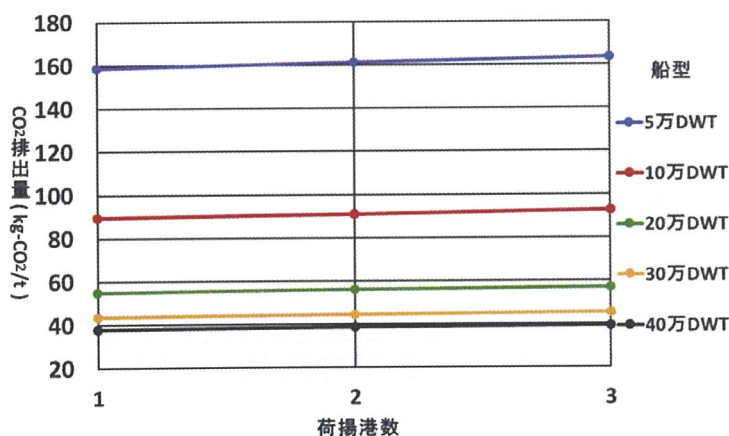


図 7.2-2 連携港湾数、船型と CO<sub>2</sub> 排出量の関係 (制約なし)

図 7.2-3 は、年間必要となる船舶の隻数を船型毎に示したものである。隻数を見ると、船型 5 万 DWT や船型 10 万 DWT などの小型な船型ほど、伸び率が多い事が読み取れる。船型 5 万 DWT の場合、荷揚港が



1 港から 3 港になると、隻数は 32 隻も増加している。逆に、船型 40 万 DWT の場合に荷揚港が 1 港から 3 港になった場合、6 隻しか増加していない。

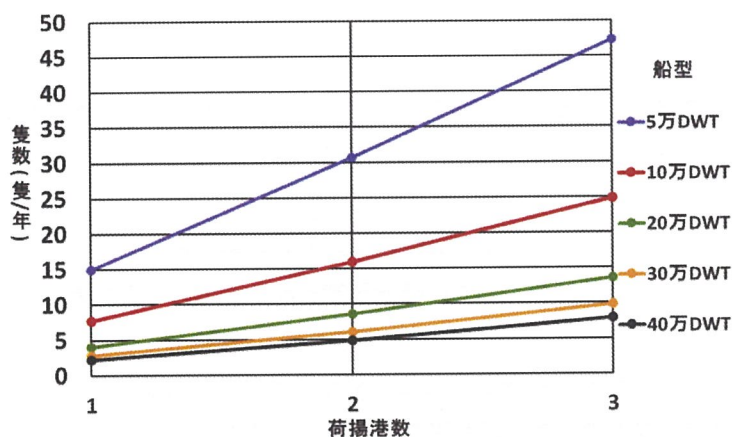


図 7.2-3 連携港湾数、船型と隻数の関係 (制約なし)

図 7.2-4 は、荷揚港数別で見た、物流コストの構成比率を示している。

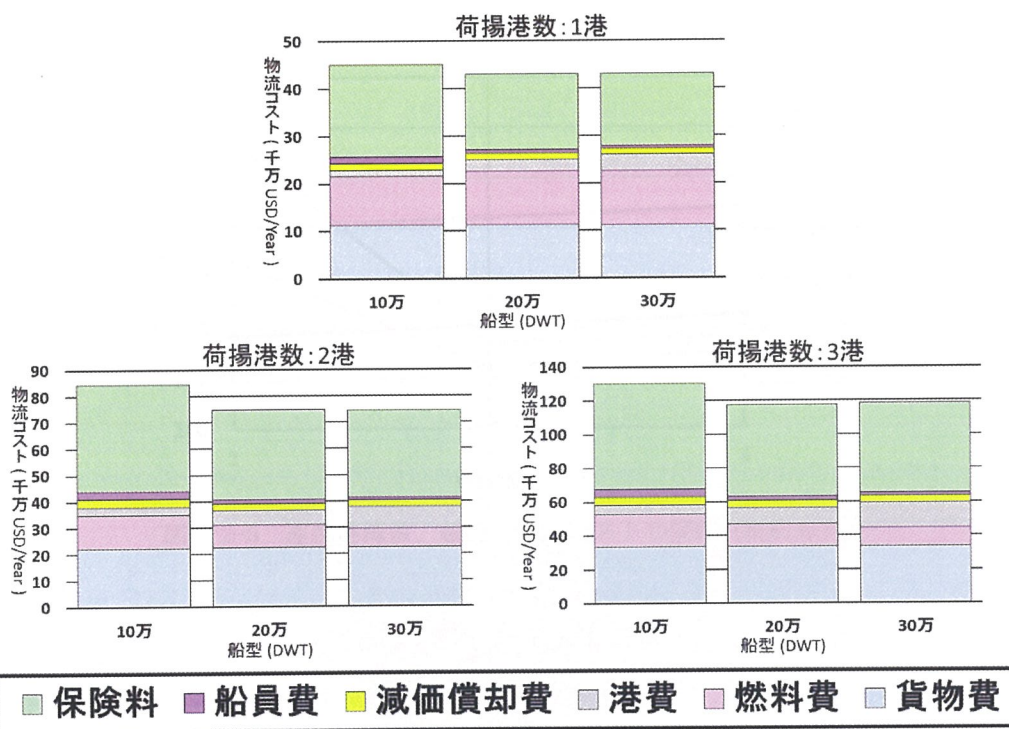


図 7.2-4 需要量毎の物流コストの構成比率 (制約なし)

当然の事ではあるが、全体を見ると、荷揚港数の増加に伴い、物流コストは増加している。

船型 10 万 DWT に着目すると、費用は荷揚港が増加すると物流コストも増加している事が読み取れる。構成比率を見ると、どの場合においても保険料が最も高くなっている。また、運航費(港費、燃料費、貨

物費)と船費(保険料、船員費、減価償却費)という区分で見ると、荷揚げ港数が増加する程、運航費の占める割合が減っている。

荷揚げ港毎に見ると、荷揚げ港が3港の場合が最も物流コストが高くなっているが、船型による物流コストの傾向はどれも同じような傾向である。そこで、船型別に見ると、荷揚げ港を問わず、船型10万DWTから船型20万DWTに大型化すると、物流コストは減少している。しかし、船型20万DWTと船型30万DWTに大型化した場合は逆に物流コストは増加している。構成比率を見ると、大型化に伴う燃料費と保険料が減少している事が顕著である。これは寄港回数と隻数の減少による。

また、図7.2-5と図7.2-6は一度に荷揚げ可能な貨物量に制約がある場合を示している。これより、望ましい船型と連携港湾数の組み合わせがある事が分かった。

船型毎に見ると、船型5万DWTと船型10万DWTの場合のみ、荷揚げ港が増加するにつれて物流コスト及びCO<sub>2</sub>排出量は増加している。それ以上の船型となると、荷揚げ港が1港から2港に増加すると、物流コスト及びCO<sub>2</sub>排出量は低減している。これは、複数の荷揚げ港に対する輸送需要量が増加し、寄港回数と必要隻数が大幅に増加するためである。

本研究の条件下では、物流コストは1港揚げが船型20万DWTで、2港揚げが船型30万DWT、CO<sub>2</sub>排出量からは1港揚げが船型20万DWTで、2港揚げが船型40万DWTのときが望ましい結果となった。

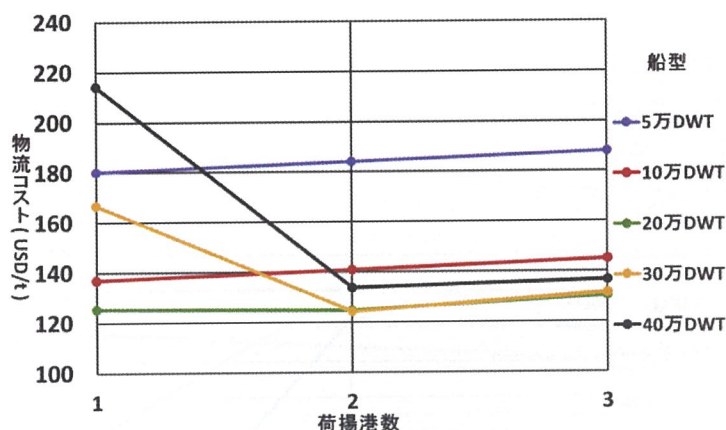


図7.2-5 連携港湾数、船型と物流コストの関係(制約あり)



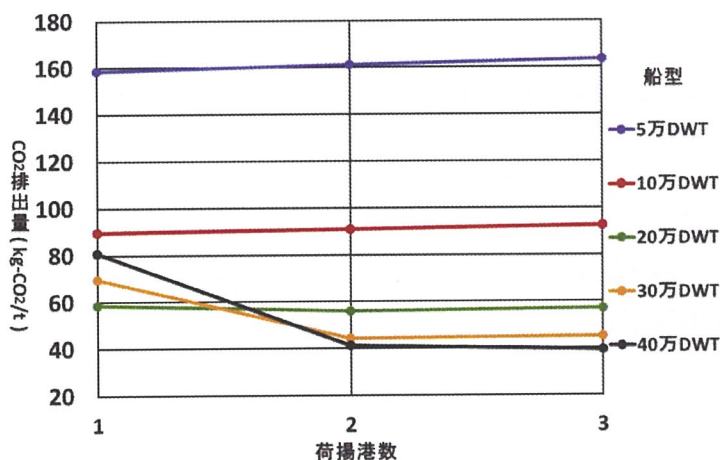


図 7.2-6 連携港湾数、船型と CO<sub>2</sub> 排出量の関係 (制約あり)

次に、制約がある場合、望ましい船型サイズが異なっていることから、参考文献 (4) の排出権取引価格を参考に、CO<sub>2</sub> 排出量の削減効果を貨幣換算し、物流コストの削減効果と合わせて総合評価する。排出権取引価格は 15.0 (EUR/t-CO<sub>2</sub>) とし、為替レートは 2010 年のレートを平均した値である 1.3 (EUR/USD) を用いた<sup>(5)</sup>。2010 年の Lloyd' s の船舶動静データ<sup>(1)</sup>や統計年報のデータ<sup>(6)</sup>を用いているため、為替レートなども 2010 年のデータを用いた。

図 7.2-7 は、第 6 章で示した設定条件の船型 20 万 DWT、1 港揚げの場合を基準とし、船舶の大型化及び複数港揚げを行った場合の物流コスト及び CO<sub>2</sub> 排出量の削減効果を総合評価した結果である。値が大きい程、削減効果が大きい。

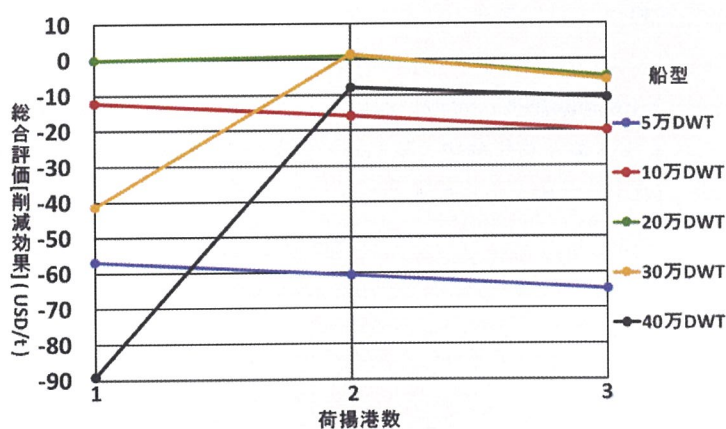


図 7.1-7 連携港湾数、船型の総合評価 (制約あり)

図 7.2-7 から、削減効果が最も大きいのは、僅かな差であるが、船型 30 万 DWT で 2 港揚げを行う場合である事が分かった。次に効果が大きいのが、船型 20 万 DWT で 2 港揚げを行う場合であり、次いで船型 20 万 DWT で 1 港揚げを行う場合であった。



船型毎に見ると、船型 10 万 DWT や船型 20 万 DWT の削減効果が大きく、船型 5 万 DWT や船型 40 万 DWT は削減効果が得られなかった。また、荷揚港数を見ると、船型 20 万 DWT 以上の船型の場合、1 港よりも 2 港の方が、削減効果が大きい。しかし、船型 20 万 DWT 未満の船舶では削減効果が得られなかった。荷揚港を 2 港から 3 港にした場合、船型を問わず、削減効果は得られなかった。

なお、複数の港湾で荷揚げする港湾の連携において物流コストが削減されるのは、寄港回数が増加する事により港湾において 1 回あたりの荷揚げ量が少なくなるためである。これにより、保管量が削減され、保管費が削減される(図 7.2-8)。特に、船型が大きい程、削減される割合が大きく、この影響を受けていると考察する。

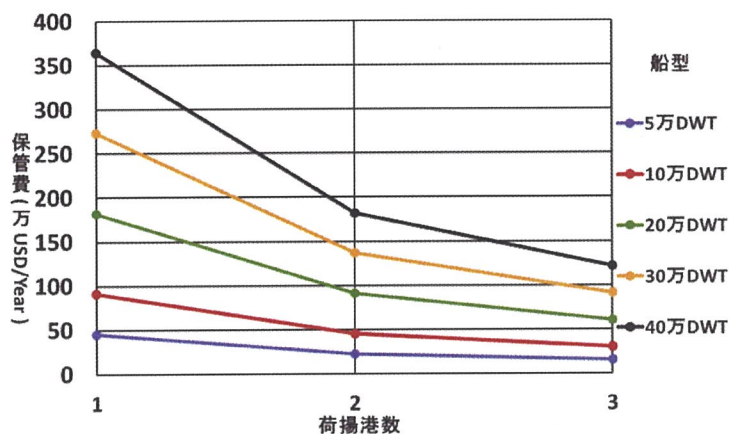


図 7.2-8 連携港湾数、船型の保管費（制約あり）

7.2 節の感度分析から、荷揚げ可能な貨物量に何も制約がない場合は、船型 20 万～40 万 DWT 程度の船舶を用いたシャトル輸送を行うと良い事が分かった。また、必要に応じて複数の港湾に寄港しなければならない場合には、船型 30 万 DWT や船型 40 万 DWT などの大型船を用いると良い。

荷揚げ可能な貨物量に制約があった場合には、適切な船型と連携港湾数の組み合わせがある事が分かった。本研究の条件下において、総合評価を行った結果、削減効果が最も大きいのは、船型 30 万 DWT で 2 港揚げを行う場合であった。次に効果が大きいのが、船型 20 万 DWT で 2 港揚げを行う場合であり、次いで船型 20 万 DWT で 1 港揚げを行う場合となった。

### 7.3 連携港湾間の航海距離の影響

連携港湾間の航海距離と物流コスト及び CO<sub>2</sub> 排出量の関係を図 7.3-1 と図 7.3-2 に示す。

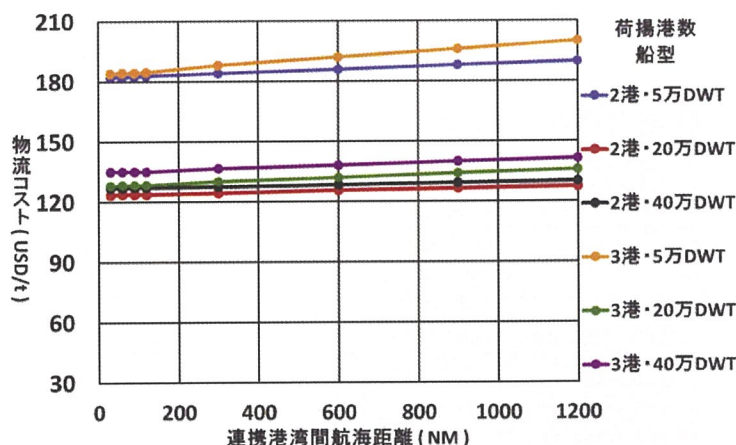


図 7.3-1 連携港湾間の航海距離、船型と物流コストの関係

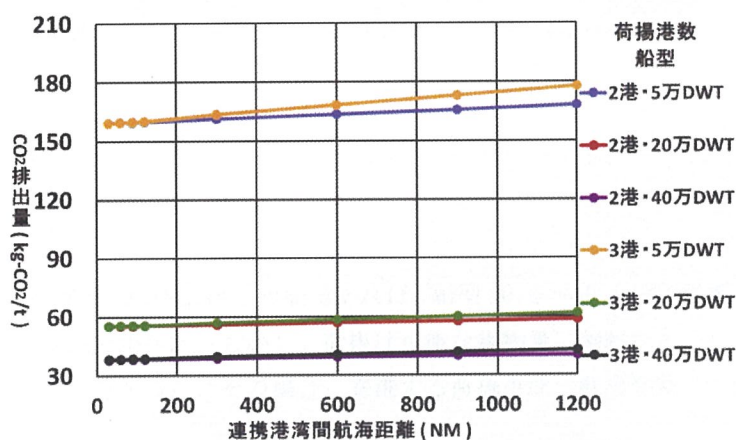


図 7.3-2 連携港湾間の航海距離、船型と CO<sub>2</sub> 排出量の関係

図から当然の結果であるが、連携港湾間の航海距離が増加するに従って、物流コスト及び CO<sub>2</sub> 排出量が増加している。特に、この増加傾向は連携港湾数が多いほど増加傾向が顕著である。

また、船型毎に見ると、物流コスト及び CO<sub>2</sub> 排出量は、荷揚港 2 港及び 3 港で船型 5 万 DWT の場合が多く、荷揚港 2 港及び 3 港で船型 40 万 DWT の場合が低い。

港湾間の航海距離の参考として、木更津港とその連携港湾である千葉港、室蘭港との間の航海距離を次に示す(図 7.3-3)。また、船会社へのヒアリング調査結果及び参考文献(7)から木更津港との間の航海が行われている大分港及び釜山港についても示す。釜山港やスービック港はブラジルの鉄鉱石メジャーである Companhia Vale do Rio Doce S.A. が中継基地とする計画を立てている港である<sup>(8)</sup>。

千葉港：20NM

室蘭港・大分港：600NM

釜山港(韓国)：900NM

スービック港(フィリピン)：1,800NM



図 7.3-3 中継基地の位置関係

以上の事から、木更津港を用いた例で言えば、大分港や釜山港との連携ではなく、千葉港のような近距離の港湾と連携すべきであると言える。

7.2 節と 7.3 節の感度分析の結果から、可能であれば、船型 20 万～40 万 DWT 程度の船舶を用いたシャトル輸送を行うと良い事が分かった。しかし、荷揚げ可能な貨物量に制約があった場合には、複数の荷揚港に寄港すると良い事が分かった。その場合、寄港する荷揚港間の航海距離が近距離となる組み合わせが良いと言える。



## 7.4 需要量の影響

需要量と物流コスト及び CO<sub>2</sub> 排出量の関係を、荷揚げ量に制約がない場合を図 7.4-1 と図 7.4-2 に、荷揚げ量の制約がある場合を図 7.4-3 と図 7.4-4 に示す。

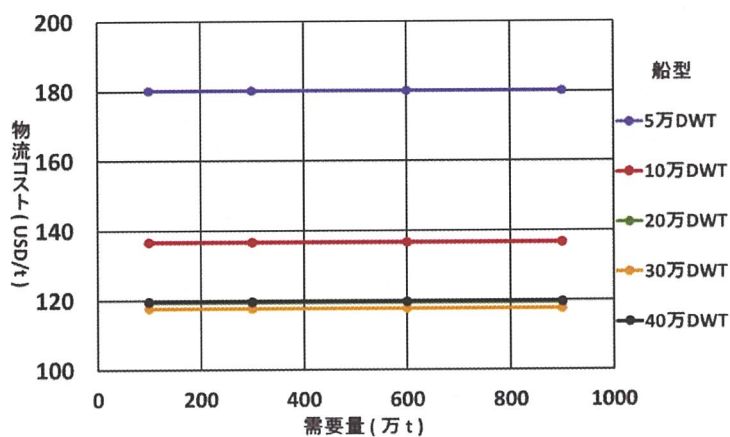


図 7.4-1 需要量、船型と物流コストの関係（制約なし）

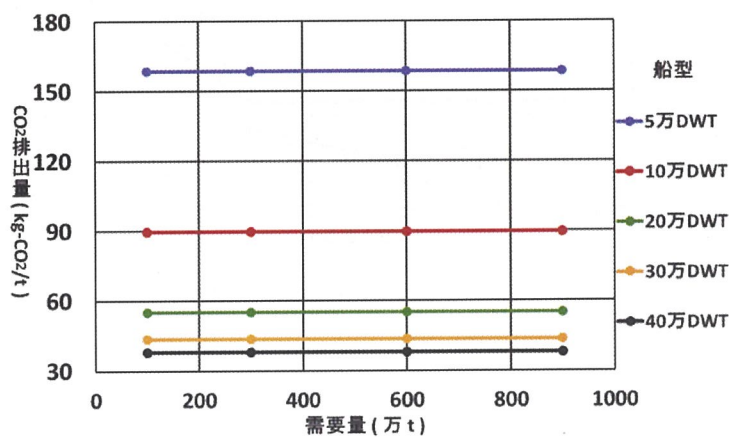


図 7.4-2 需要量、船型と CO<sub>2</sub> 排出量の関係（制約なし）

港湾における荷揚げ量の制約がない場合は、図 7.4-1 と図 7.4-2 に示すように需要量の変化による物流コストと CO<sub>2</sub> 排出量に大きな変化は見られない。

しかし、港湾における荷揚げ量の制約がある場合は、図 7.4-3 と図 7.4-4 から需要量に応じた適切な船型が存在する事が分かる。これは、船型が大きくなりすぎると港湾における荷揚げ量の影響から積載率が低下するためである。また、需要量が増加するに従って、最適な船型が大きく、そして、物流コストなどが低減している事が分かる。

船型毎に見ると、船型 5 万 DWT の場合には、需要量が増加しても物流コスト及び CO<sub>2</sub> 排出量にあまり影響はない。しかし、船型がそれ以上となった場合、需要量が増加するに伴い、物流コスト及び CO<sub>2</sub> 排出量が減少している事が読み取れる。

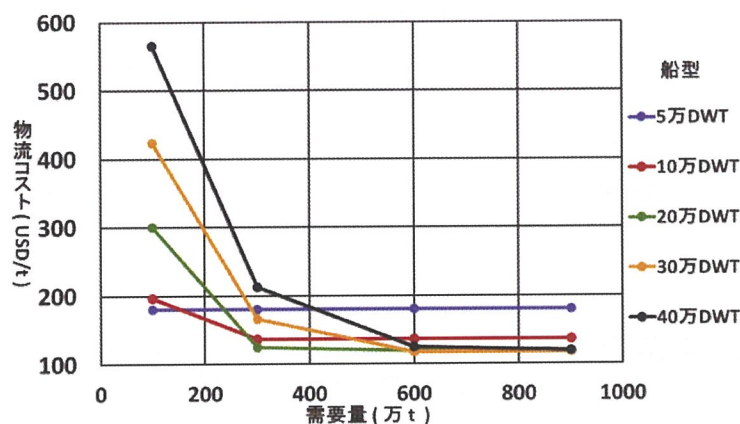


図 7.4-3 需要量、船型と物流コストの関係（制約あり）

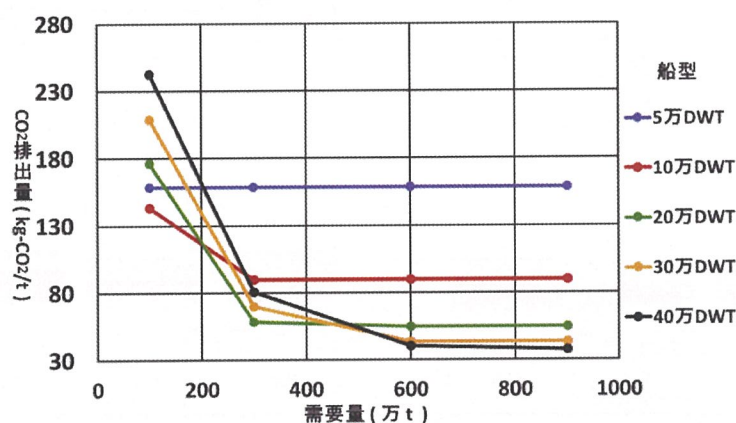


図 7.4-4 需要量、船型と物流コストの関係（制約あり）

日本の荷揚港における年間あたりの鉄鉱石輸入量の平均値を算出した結果、オーストラリアから年間平均 596 万トン/港、ブラジルから年間平均 266 万トン/港、インドから年間平均 47 万トン/港、南アフリカから年間平均 39 万トン/港、中国から年間平均 2 万トン/港であった。なお、平均値は鉄鉱石の戦略港湾とその連携港湾の 13 港湾を対象として算出した。

荷揚げ可能な貨物量に制約がある場合に、物流コストを抑えようとした場合、オーストラリアとブラジルからの輸入においては船型 20 万 DWT、インドや南アフリカ、中国からの輸入においては船型 5 万 DWT～10 万 DWT 程度の船舶を利用すると良さそうである。

図 7.4-5 は、需要量を 100 万トン、300 万トン、600 万トン、900 万トンとした場合の船型 10 万 DWT、船型 20 万 DWT、船型 30 万 DWT の場合における、物流コストの構成比率を示している。なお、荷揚げ量に制約があった場合を示している。

当然の事ではあるが、全体を見ると、需要量の増加に伴い、物流コストは高くなっている。

船型 10 万 DWT に着目すると、需要量が増加した場合にも、構成比率自体にあまり変化が見られない。



一方、需要量毎に見た場合、船型に伴う構成比率の変化傾向が異なる事が分かる。需要量 100 万トン及び 300 万トンの場合、船型が大型化するに伴い、物流コストは増加している。それに対し、需要量が 900 万トンの場合は船型の大型化により物流コストは減少している。これは、保険料の低減による効果が大きい。船舶の必要隻数が減少するためである。

需要量に対し、船舶の大型化をし過ぎた場合、船舶の船型に対する積載率が低下するため、輸送に無駄が生じる。故に、需要量が 100 万トンと 300 万トンの場合は船型の大型化により、燃料費が増加している。

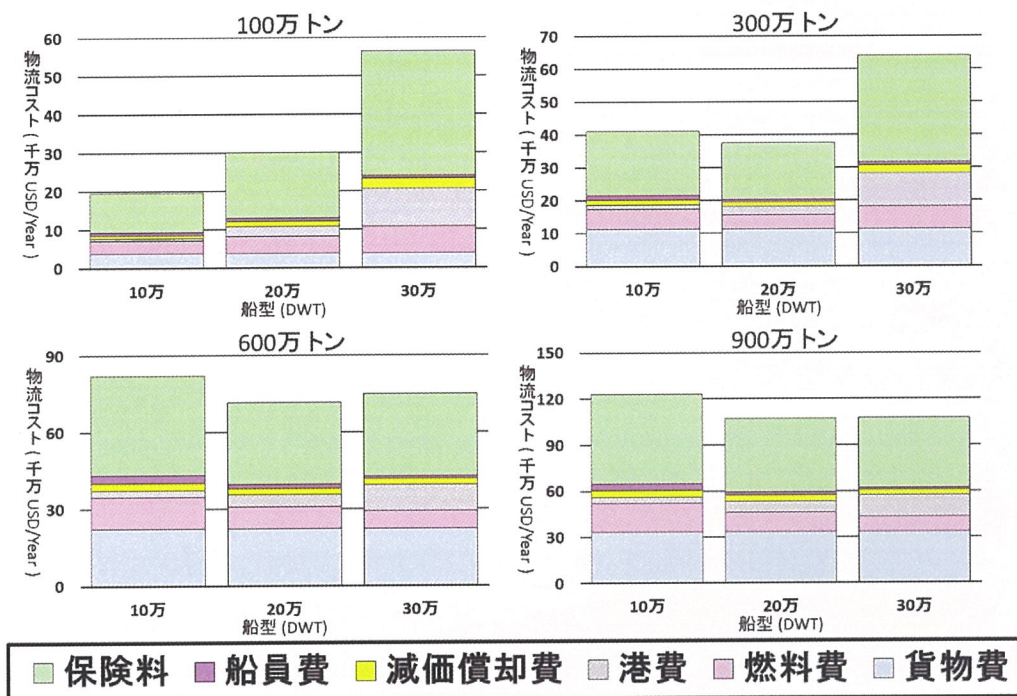


図 7.4-5 需要量毎の物流コストの構成比率(制約あり)

7.4 節の感度分析の結果から、まずは輸入量の多い積出港から船型大型化を図るのが有効である事が分かった。

鉄鉱石の多くをオーストラリアやブラジルから輸入しているが、両国と日本の荷揚港間の平均船型はそれぞれ 12.1 万 DWT と 16.6 万 DWT であった。前述した鉄鉱石輸入量の平均値から、両国からの輸入においては、船型 20 万 DWT 程度までの大型化を行うとコスト削減に繋がる事が明らかになった。なお、荷揚げ可能な貨物量に制約があった場合である。

第 2 章で詳細を述べたが、大型船の入港が可能なため、オーストラリアー大分港は船型 19.1 万 DWT、ブラジルー大分港は船型 26.0 万 DWT が平均船型となった。木更津港の場合は、オーストラリアー木更津港は船型 13.4 万 DWT、ブラジルー木更津港は船型 18.9 万 DWT となった。大分港における鉄鉱石輸入では、船型 20 万 DWT 程度が平均船型となった。しかし、木更津港における船舶は、船型 20 万 DWT 程度を目指すと言え。

木更津港に着目すると、オーストラリアの Hay Point 港(133 万トン/年)と Port Walcott 港(288 万ト



ン/年)、ブラジルの Sepetiba 港(255 万トン/年)からの輸入量が多かった。それらの積出港からの輸入において、まずは大型船(船型 20 万 DWT 程度の船舶)を導入していくべきである。

## 7.5 航海距離の影響

積出港と荷揚港間の航海距離と物流コスト及びCO<sub>2</sub>排出量の関係を図7.5-1と図7.5-2に示す。

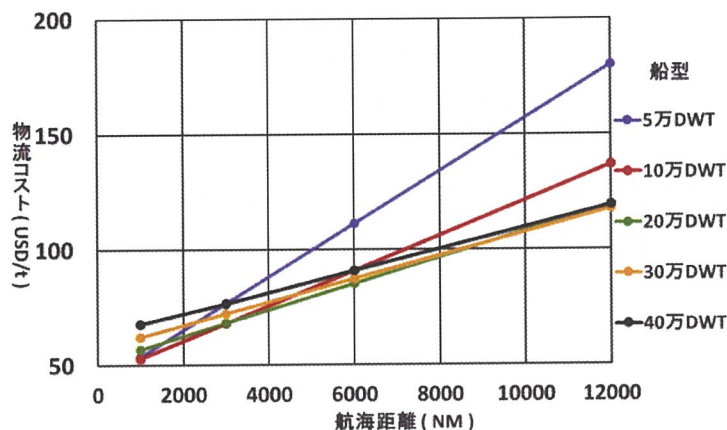


図7.5-1 航海距離、船型と物流コストの関係（制約なし）

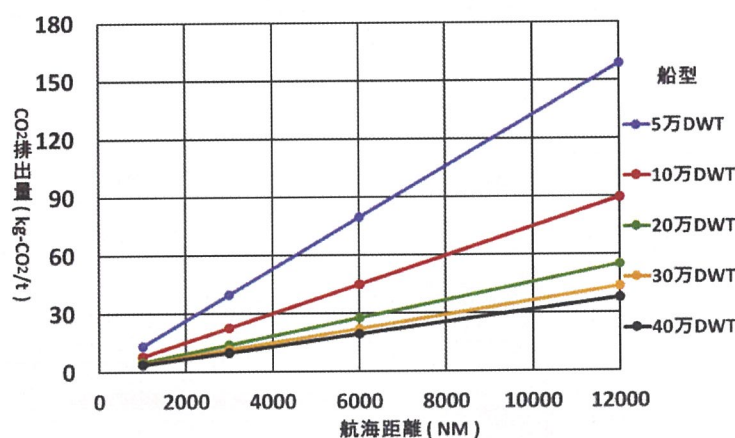


図7.5-2 航海距離、船型と物流コストの関係（制約なし）

図から、当然の事ではあるが、航海距離の増加に伴い、物流コスト及びCO<sub>2</sub>排出量は増加している。

また、航海距離の違いにより、船型が大型化した場合の物流コストなどの低減傾向が異なる事が分かる。1,000NMといった航海距離が短い場合は、船型の大型化による物流コストの削減効果は見られない。これは、物流コストに占める燃料費の割合が非常に小さく、大型化によるメリットを享受出来ていないためである。逆に、減価償却費が増加し、結果として物流コストが増加している。

これに対して、航海距離が長い場合は、船型の大型化による寄港回数の減少による物流コストの削減効果が大きい。なお、CO<sub>2</sub>排出量は近距離の場合でも船型の大型化による低減傾向が見られるが、その効果は小さい。

図7.5-3は、港湾間距離を100NM、1,000NM、6,000NM、12,000NMとした場合の、船型10万DWT、船型

20 万 DWT、船型 30 万 DWT における物流コストの構成比率である。

100NM と 1,000NM の場合を見ると、船型が大型化すると物流コストは増加している。航海距離が 6,000NM と 12,000NM の場合には物流コストは減少している。

船型 10 万 DWT に着目すると、航海距離が 100NM と 1,000NM の場合は貨物費が大半を占めている。6,000NM の場合は、貨物費と保険料の占める割合が多く、1,000NM の場合と比べて燃料費が増加している。また 12,000NM の場合には、更に保険料と燃料費の割合が増加している。航海距離が長距離になるにつれて燃料費が増加する。故に、1 航海あたりの航海時間が長くなる事により、船舶の必要隻数が増加するため、保険料が増加している。

12,000NM の場合に着目すると、船舶の船型が大型化する事により、大幅な寄港回数及び必要隻数の減少効果が得られる。それにより、保険料や燃料費が減少する。港費のみ増加している。船型が大型化する事により、寄港回数は減少する。しかし、入港費、岸壁使用料、曳船使用料など、船型が大型化する事により増加する費用により、港費は増加する。

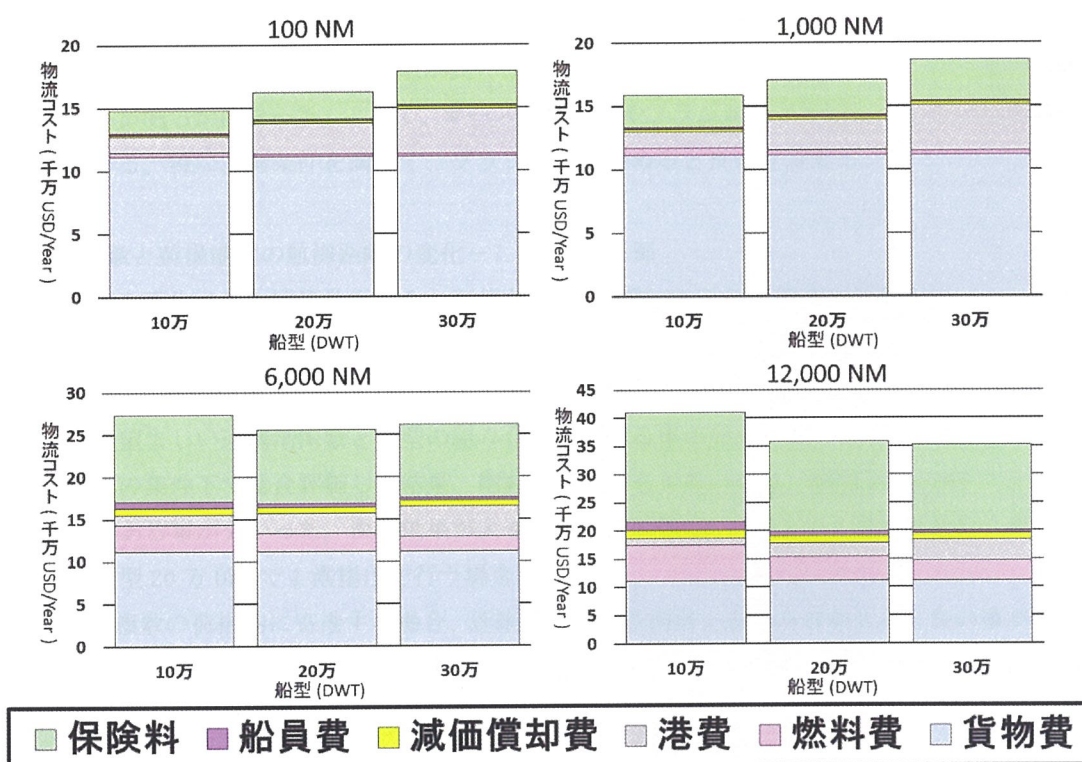


図 7.5-3 航海距離毎の物流コストの構成比率(制約なし)

7.5 節の感度分析の結果から、物流コスト及び CO<sub>2</sub> 排出量ともに大きな効果がみられる航海距離の長いブラジルからの鉄鉱石輸入を対象に、船型の大型化を図るのが望ましい事が分かった。



## 7.6 鉄鉱石の国際海上輸入を対象とした感度分析のまとめ

7章の感度分析では、国際バルク戦略港湾政策における鉄鉱石輸入を対象に、物流コストならびにCO<sub>2</sub>排出量の削減を図るための運航パターンについて検討した。その結果、以下の事が明らかになった。

### (1) 船型の大型化—7.1 節

船型を大型化する程、削減効果が得られた。特に、船型 10 万 DWT 程度まで大型化を行った場合の削減効果が大きかった。現状では、一般バルク船の平均船型は 6 万 DWT であるので、船型 10 万 DWT 程度までの大型化をまずは行うべきである。本分析の条件下では、物流コストは-8,566 万 USD の削減効果が得られた。

しかし、一度に荷揚げ可能な貨物量に制約がある場合は、その量に応じた船型がある事が明らかになった。この事から、荷揚量の上限を加味して船型を定める必要がある。

### (2) 積出港と荷揚港間の需要量及び航海距離の変化—7.4 節、7.5 節

需要量が多い程、また、航海距離が長い程、大型化による物流コスト及びCO<sub>2</sub>排出量の削減効果が大きい事が明らかになった。よって、オーストラリアやブラジルなどを中心に大型化を推進していくべきである。特に、両条件を満たす、ブラジルから進めると良いと言える。

### (3) 荷揚港数と荷揚港間の航海距離の変化—7.2 節、7.3 節

荷揚港を変化させた感度分析から、可能な限り、船型 20 万 DWT 程度の船舶を用いたシャトル輸送を行うと削減効果がある事が分かった。

しかし、複数の荷揚港に寄港しなければならない場合において、荷揚げ可能な貨物量に制約がある場合は、望ましい連携港湾数と船型の組み合わせがある事が分かった。

本研究の条件下で総合評価した結果、削減効果が最も大きいのは、船型 30 万 DWT で 2 港揚げを行う場合である事が分かった。次に効果が大きいのが、船型 20 万 DWT で 2 港揚げを行う場合であり、次いで船型 20 万 DWT で 1 港揚げを行う場合であった。

また、複数の荷揚港に寄港する場合、近距離にある港湾同士を組み合わせると良い事が明らかになった。現在、政策では、海外の中継基地などを視野に入れたものもあるが、可能であれば国内の港湾を組み合わせると良い。

拠点港として戦略港湾を選定したが、現状では、大型船を導入する際のファーストポートとするか、ハブ港とするか、その活用方法は定まっていない。しかし、どちらも一括大量輸送を行う事を目指しているため、荷揚げ可能な貨物量の上限や保管場所は非常に重要な観点である事が感度分析から分かった。また、フィーダー輸送を行う際には、小型船を用いた多頻度輸送になるため、ファーストポートとして拠点港を活用した方が良さそうである。

## 7.7 第7章に関する参考文献

- (1) Informa Group Plc Ltd. (Lloyd's Marine Intelligence Unit) : Bulk and Tanker Vessel Movement Datamase 2010 (船舶動静データ), 2010
- (2) 公益社団法人日本航海学会規格委員会国土交通省国土技術政策総合研究所港湾研究部 : 次世代の航路計画基準, pp1-8, 2004
- (3) JAKOTA Cruise Systems GmbH, Rostock. : FleetMon Tracking the Seven Seas, <<http://www.fleetmon.com/>>, 最終アクセス 2015. 07. 01
- (4) みずほ情報総研 : 排出権取引市場, <<http://www.mizuho-ir.co.jp/publication/contribution/2010/economist100208.html>>, 最終アクセス 2015. 07. 01
- (5) 株式会社 FREELABO : 世界経済, <[http://ecodb.net/exchange/usd\\_jpy.html](http://ecodb.net/exchange/usd_jpy.html)>, 最終アクセス 2015. 07. 01
- (6) 国土交通省 : 港湾統計 (平成 22 年度分年報), <<http://www.mlit.go.jp/k-toukei/search/excelhtml/01/01201000a00000.html>>, 最終アクセス 2015. 07. 01
- (7) 一般社団法人横浜港振興協会 : 韓国代表現地情報, <2013. 02, <http://www.yokohamaport.org/>>, 最終アクセス 2015. 07. 01
- (8) 菱田元 (独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構) : ブラジルの鉄鉱石資源「ブラジルの鉄鉱石資源」, 2011. 03
- (9) 海上保安庁 : 書誌第 405 号『距離表』, 1995. 06

## 第8章 感度分析を踏まえた鉄鉱石の海上輸入

### 8.1 具体的な港湾を用いた比較分析による効果の検証

#### 8.1.1 比較分析の設定

7章で述べた感度分析から、船型が大型化する程、物流コスト及びCO<sub>2</sub>排出量の削減効果があり、特に船型10万DWT程度までの大型化を行うと大きな削減効果を得られる事が明らかになった。また、可能な限り、船型10万～20万DWT程度の船舶でシャトル輸送を行うと良い事が分かった。しかし、複数の荷揚港に寄港しなければならない場合、港湾間距離が近距離な程、船型大型化による物流コスト及びCO<sub>2</sub>排出量の削減効果がある事が明らかになった。

そこで、政策で選定された戦略港湾を中心に、削減効果の検証を行う。対象とする荷揚港は、鉄鉱石の戦略港湾である木更津港と水島港・福山港、そしてこれらの連携港湾である室蘭港、鹿島港、千葉港、川崎港、名古屋港、下津港、東播磨港、呉港、大分港、北九州港の合計13港とした。

感度分析の結果を元に、ブラジルからの輸入を例に、表8.1-1及び図8.1-1に示す3つの運航パターンについて比較する。

表 8.1-1 運航パターン

| 運航パターン | 船型     | 荷揚げ方法 | 拠点港      |
|--------|--------|-------|----------|
| (a)    | 平均船型   | 1港揚げ  | —        |
| (b)    | 30万DWT | 1港揚げ  | —        |
| (c)    | 30万DWT | 2港揚げ  | 木更津港・水島港 |

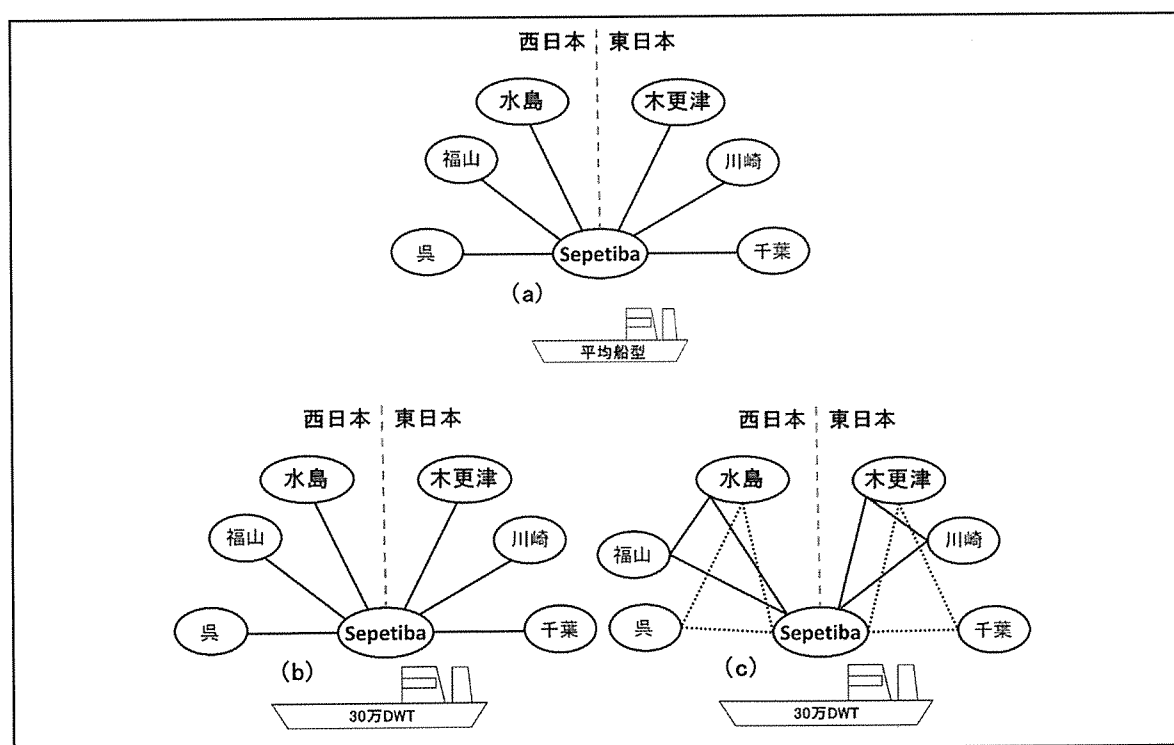


図 8.1-1 運航パターンの一例



まず、(a)はブラジルのセペチバ港と 13 港の港湾間をそれぞれ個別に往復する輸送で、船型は下記の表 8.2-2 に示す。参考文献(1)から求めた、海外の港湾から各荷揚港に寄港する鉄鉱石専用船及び一般バルク船の平均船型の場合である。

表 8.1-2 荷揚港毎の平均船型

| 荷揚港 | 平均船型(DWT) |
|-----|-----------|
| 室蘭  | 6.0万      |
| 鹿島  | 12.1万     |
| 千葉  | 8.4万      |
| 川崎  | 7.9万      |
| 木更津 | 13.1万     |
| 名古屋 | 4.0万      |
| 下津  | 4.2万      |
| 東播磨 | 5.1万      |
| 水島  | 5.1万      |
| 福山  | 6.2万      |
| 呉   | 8.4万      |
| 大分  | 11.8万     |
| 北九州 | 3.9万      |

次に、(b)は(a)の場合の船型を全て、船型 30 万 DWT とした場合である。最後に、(c)は船型を全て 30 万 DWT とした場合で、木更津港と水島港を拠点港とし、それぞれ次に示す港湾との 2 港揚げとした場合の輸送である。

木更津港：室蘭港、鹿島港、千葉港、川崎港、名古屋港

水島港：下津港、東播磨港、福山港、呉港、大分港、北九州港

また、需要量や航海距離は参考文献(1)(2)(3)から求めた。

## 8.1.2 比較分析の結果

8.1 節では、具体的な港湾における需要量や航海距離の実データを用いて分析を行った。運航パターン毎の物流コストの比較を図 8.1-2 に、物流コスト及び CO<sub>2</sub> 排出量の算出結果を表 8.1-3 に示す。

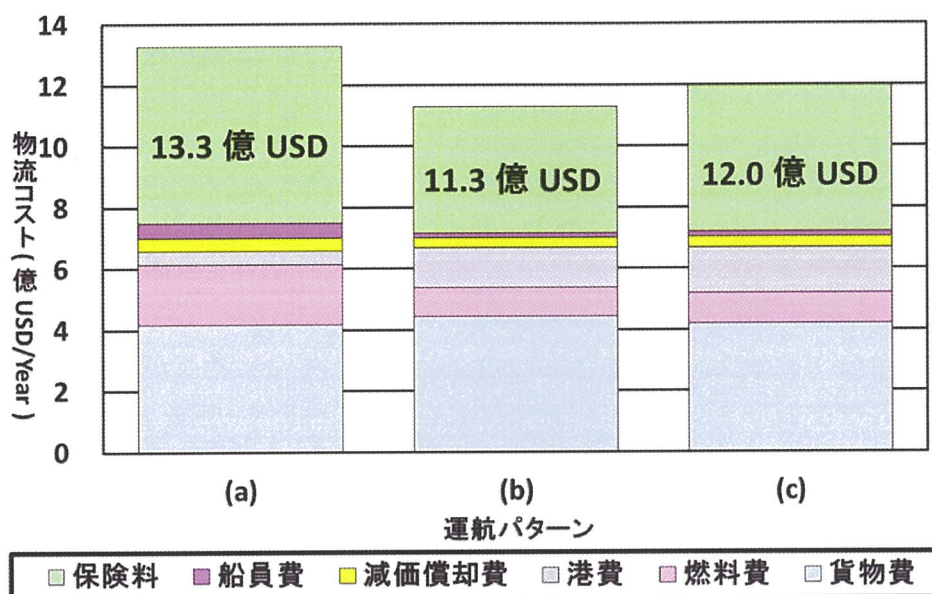


図 8.1-2 運航パターン毎の物流コストの比較

表 8.1-3 運航パターン毎の物流コスト及び CO<sub>2</sub> 排出量の比較

| 運航パターン | 物流コスト<br>USD/Year | 貨物費<br>USD/Year | 燃料費<br>USD/Year | 港費<br>USD/Year | 減価償却費<br>USD/Year | 船員費<br>USD/Year | 保険料<br>USD/Year | CO <sub>2</sub> 排出量<br>t-CO <sub>2</sub> /Year |
|--------|-------------------|-----------------|-----------------|----------------|-------------------|-----------------|-----------------|--|
| (a)    | 1,328,848,383     | 418,251,969     | 196,699,509     | 43,023,258     | 42,219,745        | 50,539,487      | 578,114,414     | 875,269  |
| (b)    | 1,129,709,382     | 445,015,538     | 92,399,183      | 131,951,656    | 31,409,592        | 14,510,859      | 414,422,553     | 336,472  |
| (c)    | 1,196,513,817     | 419,621,485     | 99,698,637      | 148,356,015    | 36,083,042        | 16,669,937      | 476,084,701     | 363,053  |

運航パターン(a)と(b)の比較から、船舶の大型化による削減効果がある事が分かる。本事例の場合は、物流コストで2.0億[USD/年]、そしてCO<sub>2</sub>排出量で53.9万[t-CO<sub>2</sub>/年]削減された。船型の大型化により、寄港回数の大幅な削減による効果が大きく、特に燃料費の削減が顕著である。

また、運航パターン(c)の木更津港及び水島港を拠点港湾とする2港揚げの場合は、(a)と比較すると物流コストが1.3億[USD/年]、そしてCO<sub>2</sub>排出量が51.2万[t-CO<sub>2</sub>/年]削減される。(b)と比較して削減効果が小さい理由は、荷揚港が2港であるため、1航海における航海距離が増加する事と、貨物積載率が(b)と比較して低い事が原因として考えられる。

この比較分析の結果から、運航パターン(b)の船舶の大型化が最も物流コスト及びCO<sub>2</sub>排出量の削減効果が大きく、有効な削減策である事が分かった。

感度分析からも、船型を大型化すると削減効果がある事が分かったが、実際のデータに基づいた比較分

析から、削減効果がある事が検証出来た。また、複数の荷揚港に寄港する航路よりもシャトル輸送の方が良い事も明らかになった。

戦略港湾である水島港は、水島港と福山港を拠点港としたフィーダー輸送を考案しているが、この比較分析の結果から、フィーダー輸送よりも、大型船を導入する際のファーストボートとした方が良さそうである。その理由は、フィーダー輸送では、小型船を用いた多頻度輸送になってしまうためである。



## 8.2 感度分析を踏まえた鉄鉱石の海上輸入の最適化

第7章の感度分析から、船型が大型化する程、削減効果がある事が明らかになった。特に、船型10万DWT程度までの船型にすると、その効果が大きかった。現在、輸入で用いられている一般バルク船の平均船型は約6万DWTである。鉄鉱石専用船は、これに対して大型であり、平均船型は約20万DWTである。鉄鉱石は他のドライバルクに対して比重も大きいため、大型の傾向がある。この事からも、船型6万DWTから船型10万DWT程度まで大型化する事は、物流コスト及びCO<sub>2</sub>排出量の削減に有効であると言える。

しかし、一度に荷揚げ可能な貨物量に制約がある場合は適切な船型が異なるという結果になった。故に、保管可能な能力(場所や消費量)を考慮して船型を定める必要がある。一度に荷揚げ可能な貨物量や保管能力が少ない場合、小型船を用いて多頻度で輸入を行うと良く、これは、積載率を上げるためである。

また、航海距離が長い程、需要量は多い程、船型の大型化による大きな削減効果が得られた。この結果から、現在、オーストラリアやブラジルから鉄鉱石の殆どを輸入しているため、この2国から船舶の大型化を進めると良い。特に、ブラジルは、両条件を満たしているため、船型大型化による大きな削減効果が期待出来る。

基本的には、船型10万~20万DWT程度の船舶を用いたシャトル輸送が効果的であった。しかし、複数の荷揚港に寄港する必要がある場合、荷揚港数は1港、若しくは、2港が良かった。適切な荷揚港の港湾数は、船型や港湾間の需要に大きく左右される。また、複数港の荷揚港に寄港する場合、近距離の荷揚港を組み合わせると良い。

感度分析により、各パラメータが変化した場合の傾向を把握した。分析の結果から、荷揚貨物量の上限、荷揚港数、需要量や航海距離が変化すると、適切な船型が変化し、物流コスト及びCO<sub>2</sub>排出量に大きな影響を与える事、また、それらに応じた適当な船型や航路(荷揚港への寄港方法など)がある事が明らかになった。

そこで、現状のデータを用い、日本全体の港湾における鉄鉱石輸入を対象とした最適化を第9章で行い、物流コスト及びCO<sub>2</sub>排出量が最小となるような船舶の船型及び航路(荷揚港への寄港方法など)を明らかにする。その結果から、鉄鉱石輸入において、目標とすべき船型や航路などの提言を行う。

船型を大型化する事により効果が得られた事と、需要量や航海距離などが異なると適切な船型も異なるという結果を得たため、船型を10万DWT、20万DWT、30万DWT、40万DWTとして分析を行う。

また、現在、鉄鉱石の輸出入を行っている港湾を対象として分析する。船舶動静データ<sup>(1)</sup>を分析した結果から得た、鉄鉱石の代表的な積出港12港と、日本の戦略港湾である木更津港、及び、水島港とそれらの連携港湾13港を荷揚港とする。詳細は、8.3で述べるが、参考文献(1)(2)から推計した港湾毎の需要量を参考にする。鉄鉱石は、生産地によって、鉄品位(含有量などの質)が異なる。そのため、荷揚港の需要量を満たすだけでなく、積出港と荷揚港において、データに基づく荷動きをするように制約を加える。それ以外にも、大型船の入出港の可否を考慮するため、各港湾の水深と、船型毎の喫水による制約を加える。

最適化を行う際のルートは、リンクによる分析ではなく、ルート(航路)による分析を行う。そこで、積出港と荷揚港における全組み合わせのルート(航路)を設定する。荷揚港の港湾数に関しては、感度分析の結果より、1 港から 3 港として設定する。日本の鉄鉱石輸入を対象としているため、国内フィーダー輸送なども考慮すべきであるが、7 章の比較分析から、大型船によるシャトル輸送や荷揚港を複数寄港する航路が良い事が明らかになったため、本研究では考慮しないものとする。

### 8.3 鉄鉱石の海上輸入の設定

積出港は、オーストラリアのア Abbot Point 港、Dampier 港、Esperance 港、Hay Point 港、Newcastle 港、Port Hedland 港、Port Walcott 港、ブラジルの Ponta da Madeira 港、Sepetiba 港、Tubarao 港、インドの Mormugao 港、南アフリカの Saldanha Bay 港とする。参考文献(1)のデータを分析した結果、日本の港湾への輸送量の多い港湾を抽出した(図 8.3-1)。

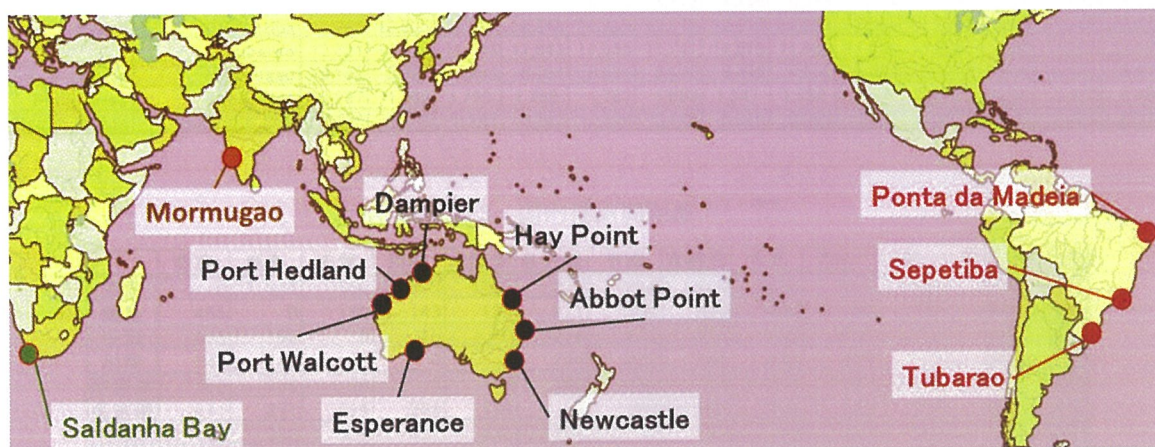


図 8.3-1 積出港の位置関係

荷揚港は第 6 章でも述べた、室蘭港、鹿島港、千葉港、川崎港、木更津港、名古屋港、下津港、東播磨港、水島港、福山港、呉港、大分港、北九州港とする。これらの港は、国際バルク戦略港湾政策で選定された港湾とその連携港湾である。

表 8.3-1 は積出港と荷揚港における輸送需要量、表 8.3-2 は積出港－荷揚港の航海距離、表 8.3-3 は国内荷揚港間の航海距離である。このデータを元に、物流コスト及び CO<sub>2</sub> 排出量が最小となる船型及び航路(荷揚港への寄港方法など)の最適化を行う。

表 8.3-1 積出港－荷揚港の輸送量<sup>(1)(2)</sup>より作成

| 積出国          | 積出港              | 荷揚港 | 室蘭      | 鹿島        | 千葉      | 川崎        | 木更津       | 名古屋       | 和歌山下津     | 東播磨       | 水島        | 福山        | 呉         | 大分        | 北九州       |
|--------------|------------------|-----|---------|-----------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Australia    | Abbot Point      |     | 0       | 66,188    | 179,981 | 186,172   | 0         | 31,331    | 0         | 0         | 515,479   | 296,176   | 0         | 70,027    | 165,752   |
|              | Dampier          |     | 177,103 | 1,277,392 | 674,588 | 347,655   | 730,861   | 412,110   | 760,038   | 6,483,728 | 1,535,634 | 1,723,950 | 1,038,070 | 997,773   | 642,366   |
|              | Esperance        |     | 0       | 11,909    | 11,674  | 109,935   | 0         | 37,710    | 125,373   | 0         | 30,988    | 122,837   | 0         | 0         | 107,279   |
|              | Hay Point        |     | 754,859 | 1,122,963 | 266,427 | 955,065   | 1,337,447 | 1,672,351 | 724,160   | 0         | 536,368   | 610,850   | 0         | 1,420,271 | 1,194,718 |
|              | Newcastle        |     | 990,643 | 1,980,236 | 537,002 | 411,301   | 990,246   | 1,191,571 | 980,846   | 0         | 355,942   | 1,175,838 | 776,267   | 1,413,962 | 1,632,120 |
|              | Port Hedland     |     | 67,273  | 1,374,208 | 776,959 | 1,473,593 | 733,078   | 230,197   | 277,535   | 0         | 3,988,756 | 3,552,109 | 928,607   | 355,827   | 967,886   |
|              | Port Walcott     |     | 876,927 | 2,457,146 | 324,150 | 306,002   | 2,883,233 | 3,085,960 | 1,416,516 | 0         | 2,809,514 | 2,391,874 | 970,180   | 2,293,269 | 1,035,755 |
| Brazil       | Ponta da Madeira |     | 84,329  | 1,434,960 | 0       | 839,339   | 1,789,041 | 882,822   | 941,549   | 1,208,315 | 996,383   | 878,926   | 644,554   | 2,030,031 | 0         |
|              | Sepetiba         |     | 144,851 | 648,910   | 214,097 | 315,865   | 2,521,018 | 970,462   | 183,953   | 1,208,315 | 744,312   | 652,188   | 572,321   | 2,327,723 | 528,639   |
|              | Tubarao          |     | 0       | 637,766   | 347,345 | 746,599   | 2,192,071 | 1,748,264 | 425,994   | 1,208,315 | 392,878   | 961,917   | 0         | 1,931,778 | 1,260,408 |
| India        | Mormugao         |     | 219,950 | 275,421   | 92,218  | 368,454   | 73,593    | 663,567   | 479,284   | 903,144   | 815,236   | 1,652,821 | 160,767   | 149,181   | 230,798   |
| South Africa | Saldanha Bay     |     | 200,112 | 738,744   | 10,020  | 212,302   | 1,981,175 | 99,682    | 276,181   | 317,539   | 429,132   | 0         | 22,204    | 779,117   | 0         |



表 8.3-2 積出港－荷揚港の航海距離<sup>(3)</sup> (4)より作成

| 積出国          | 積出港 荷揚港          | 室蘭     | 鹿島     | 千葉     | 川崎     | 木更津    | 名古屋    | 下津     | 東播磨    | 水島     | 福山     | 呉      | 大分     | 北九州    |
|--------------|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Australia    | Abbot Point      | 7,733  | 7,613  | 7,367  | 7,878  | 8,020  | 7,415  | 7,768  | 7,719  | 8,302  | 7,679  | 7,477  | 8,256  | 7,613  |
|              | Dampier          | 4,760  | 4,363  | 4,272  | 4,272  | 4,264  | 4,170  | 4,044  | 4,118  | 4,032  | 4,012  | 3,987  | 3,933  | 3,998  |
|              | Esperance        | 5,584  | 4,942  | 5,096  | 5,096  | 5,088  | 4,994  | 4,868  | 4,942  | 4,856  | 4,836  | 4,811  | 4,757  | 4,822  |
|              | Hay Point        | 7,783  | 7,663  | 7,417  | 7,928  | 8,070  | 7,465  | 7,818  | 7,769  | 8,352  | 7,729  | 7,527  | 8,306  | 7,663  |
|              | Newcastle        | 5,510  | 5,113  | 5,022  | 5,022  | 5,014  | 4,920  | 4,794  | 4,868  | 4,782  | 4,762  | 4,737  | 4,683  | 4,748  |
|              | Port Hedland     | 4,587  | 4,190  | 4,099  | 4,099  | 4,091  | 3,997  | 3,871  | 3,945  | 3,859  | 3,839  | 3,814  | 3,760  | 3,825  |
|              | Port Walcott     | 4,650  | 4,253  | 4,162  | 4,162  | 4,154  | 4,060  | 3,934  | 4,008  | 3,922  | 3,902  | 3,877  | 3,823  | 3,888  |
| Brazil       | Ponta da Madeira | 5,702  | 5,305  | 5,214  | 5,214  | 5,206  | 5,112  | 4,986  | 5,060  | 4,974  | 4,954  | 4,929  | 4,875  | 4,940  |
|              | Sepetiba         | 12,732 | 12,335 | 12,244 | 12,244 | 12,236 | 12,142 | 12,016 | 12,090 | 12,004 | 11,984 | 11,959 | 11,905 | 11,970 |
|              | Tubarao          | 12,331 | 11,934 | 11,843 | 11,843 | 11,835 | 11,741 | 11,615 | 11,689 | 11,603 | 11,583 | 11,558 | 11,504 | 11,569 |
| India        | Mormugao         | 9,192  | 8,795  | 8,704  | 8,704  | 8,696  | 8,602  | 8,476  | 8,550  | 8,464  | 8,444  | 8,419  | 8,365  | 8,430  |
| Philippines  | Subic Bay        | 2,287  | 1,892  | 1,793  | 1,788  | 1,783  | 1,683  | 1,537  | 1,589  | 1,584  | 1,563  | 1,510  | 1,422  | 1,404  |
| South Africa | Saldanha Bay     | 3,735  | 3,338  | 3,247  | 3,247  | 3,239  | 3,145  | 3,019  | 3,093  | 3,007  | 2,987  | 2,962  | 2,908  | 2,973  |

表 8.3-3 国内港湾間距離<sup>(3)</sup>より作成

|     | 室蘭   | 鹿島  | 千葉  | 川崎  | 木更津 | 名古屋 | 下津  | 東播磨 | 水島  | 福山  | 呉   | 大分  | 北九州  |
|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| 室蘭  | 0    | 405 | 555 | 545 | 550 | 671 | 794 | 829 | 856 | 969 | 925 | 836 | 1254 |
| 鹿島  | 405  | 0   | 156 | 143 | 138 | 271 | 388 | 435 | 486 | 503 | 584 | 561 | 625  |
| 千葉  | 555  | 156 | 0   | 18  | 10  | 214 | 331 | 378 | 429 | 446 | 527 | 504 | 568  |
| 川崎  | 545  | 143 | 18  | 0   | 5   | 204 | 321 | 368 | 419 | 436 | 517 | 494 | 558  |
| 木更津 | 550  | 138 | 10  | 5   | 0   | 199 | 316 | 363 | 414 | 431 | 512 | 489 | 553  |
| 名古屋 | 671  | 271 | 214 | 204 | 199 | 0   | 193 | 241 | 291 | 309 | 389 | 467 | 432  |
| 下津  | 794  | 388 | 331 | 321 | 316 | 193 | 0   | 52  | 102 | 120 | 200 | 230 | 270  |
| 東播磨 | 829  | 435 | 378 | 368 | 363 | 241 | 52  | 0   | 72  | 76  | 157 | 187 | 226  |
| 水島  | 856  | 486 | 429 | 419 | 414 | 291 | 102 | 72  | 0   | 21  | 104 | 134 | 173  |
| 福山  | 969  | 503 | 446 | 436 | 431 | 309 | 120 | 76  | 21  | 0   | 86  | 116 | 155  |
| 呉   | 925  | 584 | 527 | 517 | 512 | 389 | 200 | 157 | 104 | 86  | 0   | 80  | 116  |
| 大分  | 836  | 561 | 504 | 494 | 489 | 467 | 230 | 187 | 134 | 116 | 80  | 0   | 109  |
| 北九州 | 1254 | 625 | 568 | 558 | 553 | 432 | 270 | 226 | 173 | 155 | 116 | 109 | 0    |

## 8.4 総合評価

最適化を行うにあたり、物流コスト及びCO<sub>2</sub>排出量の総合評価を行う。この際、CO<sub>2</sub>排出量を貨幣換算する。第6章で述べた、排出量取引価格<sup>(5)</sup>から算出する。排出権取引は、本来ならば、目標とする設定値と比較し、その差分を取引する。第7章の感度分析では、基本設定と比較した場合の差分を見たが、今回の分析では、CO<sub>2</sub>排出量を貨幣換算し、コストとして物流コストに加算する形で、最適化を行う。

なお、用いるデータは8.1の需要量及び航海距離、第5章で述べた費用単価を用いる。

## 8.5 第8章に関する参考文献

- (1) Informa Group Plc Ltd. (Lloyd's Marine Intelligence Unit) : Bulk and Tanker Vessel Movement Datamase 2010 (船舶動静データ), 2010
- (2) 国土交通省 : 港湾統計 (平成 22 年度分年報), <<http://www.mlit.go.jp/k-toukei/search/excelhtml/01/01201000a00000.html>>, 最終アクセス 2015.07.01
- (3) 海上保安庁 : 書誌第 405 号『距離表』, 1995.06
- (4) 日本航海士会 : World-Wide Distance Chart 世界港間距離表, 海文堂, 日本船長協会監修, 2011.01.05
- (5) みずほ情報総研 : 排出権取引市場, <<http://www.mizuho-ir.co.jp/publication/contribution/2010/economist100208.html>>, 最終アクセス 2015.07.01



### 9.1 定式化

各積出港から、各荷揚港に鉄鉱石を輸出入する場合を想定する。積出港 1 港に対し、荷揚港には何港寄港しても良い事とする。その際、第 8 章で述べた通り、荷揚港を 1 港から 3 港とした場合の航路を設定する。また、CO<sub>2</sub> 排出量は排出権取引価格を参考に、貨幣換算し、物流コストに加算して最適化を行う。この際、貨物の積み替えはない事として算出する。

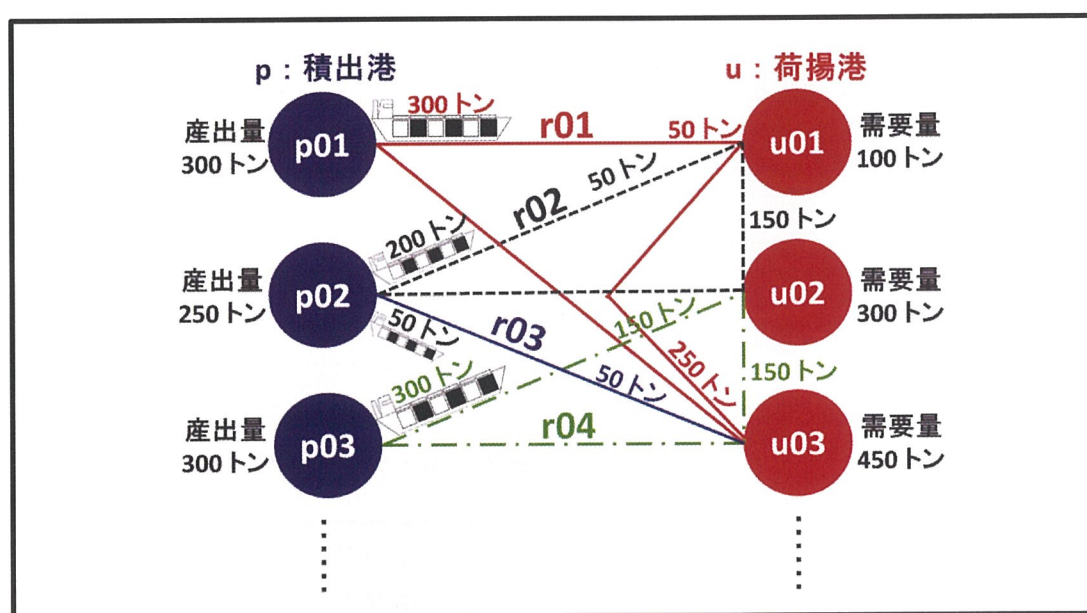


図 9.1-1 最適化のイメージ

貨物費(C01)は、港湾毎の取り扱い貨物量から算出する。船舶の船型や航路が変化しても、需供量自体は変化せず、また、貨物の積み替えがないため、定数となる。

船費は減価償却費、船員費、保険料から求める。船型毎に船費単価(C04)を算出し、就航可能回数(C05)と就航回数(y)から算出した年間必要隻数を乗じて船費を求める。就航回数は、港湾間における航海時間だけでなく、入出港時間や荷役時間も加味している。

8.4 で述べた通り、最適化では総合評価を行う。CO<sub>2</sub> 排出量は、排出権取引価格を参考に貨幣換算し、物流コストに加算している。この値を C06 とする。

この、物流コストと CO<sub>2</sub> 排出量の貨幣換算した値の総計が最小になるように最適化を行う。また、最適化をする際、これらのコストを算出する際、船型(k)と航路(r)の別を考慮している。

目的関数 ～ 総コストの最小化 ～

$$\min. \quad CST = CO1 + \sum_{(k,r) \in SR} \left( CO2_{k,r} + CO3_{k,r} + \frac{CO4_k}{CO5_{k,r}} + CO6_{k,r} \right) \cdot y_{k,r} \quad \text{-----} \quad (1)$$

CO1 : 貨物費 [ \$ ]

CO2 : 燃料費単価 [ \$ /回]

CO3 : 港費単価 [ \$ /回]

CO4 : 船費単価 [ \$ / (隻・年) ]

CO5 : 就航可能回数 [ 回 / (隻・年) ]

CO6 : CO<sub>2</sub> 排出量から算出した排出権取引単価 [ \$ /回]

y : 就航回数 [ 回 / 年 ]

SU : 需要の集合

SR : 船別の就航可能な航路の集合

k : 船型を表す添え字

r : 航路を表す添え字

9 章の分析では、下記の項目、(1)～(3)の最適化を行う。

- (1) 貨物量の上限と水深を加味した最適化
- (2) 貨物量の上限を緩和した最適化
- (3) 貨物量の上限と水深の制約を緩和した最適化

大型船を導入した場合、保管場所・能力の限界から、全ての貨物を荷揚げ出来るとは限らない。また、港湾によって水深が異なり、入港可能となる船型に差がある。(1)では、可能な限り現実に近い状態で最適化を行うため、一度に荷揚げ可能な貨物量の上限と、各港湾の水深と各船型の必要水深から、水深の制約を設定した。

保管場所に何も制約がなく、荷揚げ可能な貨物量に上限がなかった場合、用いられる船舶の船型や航路に影響を与える可能性がある。そこで、(2)では、貨物量の上限を緩和した最適化を行う。

更に、全ての港湾が大水深岸壁を有していた場合にどのような結果をなすか示すため、(3)の貨物量の上限と水深の制約を緩和した最適化を行う。ここでは、現在の最大船型である、船型 40 万 DWT の船舶が、どの港湾にも入港可能であるとして分析を行う。

(2)(3)は、今後の港湾整備を考えていくための、非常に重要な分析である。

## 9.2 前提条件及び制条件

次に、制条件条件に関して述べる。下記の4つの制条件を考慮した制条件条件を加える。

- (1) 貨物流動の制条件
- (2) 鉄鉱石専用船・一般バルク船における積載の制条件
- (3) 決定変数の制条件
- (4) 荷揚げ貨物量の上限制条件

なお、(2)と(3)の分析では、上記の(4)の制条件は加えていない。

### (1) 貨物流動の制条件

まず、貨物の流動に関する制条件条件を式(2)から(7)に示す。貨物の流動は、積出港と荷揚げ港の各輸送需要量(DEM)を見る。発港(積出港)では需要量(DEM)分の流出量、着港(荷揚げ港)では需要量(DEM)分の流入量があり、各港間で流出量と流入量が等しくなる事とする。また、荷揚げ港が複数の場合があり、途中でいくつかの港湾に寄港する事となる。この際、流出入量の差分が0となる。そこで、需要量別、船舶の船型別、航路別で発港と着港以外の港における流出量と流入量が等しくなるように制条件を加える。

・発港における流出量と流入量の制条件

$$\sum_{(k,r,a,j) \in SL} x_{k,r,a,j}^{a,b} = DEM_{a,b}, \forall (a,b) \in SU \quad \text{-----} \quad (2)$$

$$\sum_{(k,r,i,a) \in SL} x_{k,r,i,a}^{a,b} = 0, \forall (a,b) \in SU \quad \text{-----} \quad (3)$$

・着港における流入量と流出量の制条件

$$\sum_{(k,r,i,b) \in SL} x_{k,r,i,b}^{a,b} = DEM_{a,b}, \forall (a,b) \in SU \quad \text{-----} \quad (4)$$

$$\sum_{(k,r,b,j) \in SL} x_{k,r,b,j}^{a,b} = 0, \forall (a,b) \in SU \quad \text{-----} \quad (5)$$

・発港と着港以外の港における流入量と流出量は等しい

$$\sum_{(k,r,i,h) \in SL} x_{k,r,i,h}^{a,b} - \sum_{(k,r,h,j) \in SL} x_{k,r,h,j}^{a,b} = 0 \quad \text{-----} \quad (6)$$

$$\forall (a,b) \in SU, \forall (k,r) \in SR, \forall h \in SP_{k,r}: a \neq h \text{ and } b \neq h \quad \text{-----} \quad (7)$$

### (2) 鉄鉱石専用船・一般バルク船における積載の制条件

次に、船舶の貨物積載可能量の制条件を(8)に示す。航路 r における、船型 s の年間輸送能力 ( $MAX_k$ ・



$y_{k,r}$  は年間輸送貨物量 ( $x_{k,r,i,j}^{a,b}$ ) より大きくなければ輸送する事が出来なくなってしまう。そのため、輸送能力が輸送量よりも大きくなるような制約を加える。

$$MAX_k \cdot y_{k,r} - \sum_{(a,b) \in SU} x_{k,r,i,j}^{a,b} \geq 0, \forall (k,r,i,j) \in SL \quad \text{-----} \quad (8)$$

### (3) 決定変数の制約

決定変数に関する制約を述べる。船型別、航路別の輸送貨物量 ( $x_{k,r,i,j}^{a,b}$ ) 及び就航回数 ( $y_{k,r}$ ) は、0 よりも大きくなければならないという制約を加える。

$$x_{k,r,i,j}^{a,b} \geq 0, \forall (a,b) \in SU, \forall (k,r,i,j) \in SL \quad \text{-----} \quad (9)$$

$$y_{k,r} \geq 0, \forall (k,r) \in SR \quad \text{-----} \quad (10)$$

### (4) 荷揚げ貨物量の上限制約

最後に、1 度に荷揚げ可能な貨物量に上限設定をした場合の制約に関して述べる。ULT は、1 隻の船舶が 1 港湾に荷揚げ可能となる貨物量を示している。

鉄鉱石を実際に輸送した経験のある航海士から、荷揚げ港 1 港において 1~3 ホールド荷揚げする事が多いと伺った。ヒアリング調査を行った航海士の乗船していた一般バルク船は、船型 20 万 DWT 程度で 5 ホールドであった。この事から、1 港における荷揚げ可能な貨物量を 5 万トン、10 万トン、15 万トンとして ULT を設定した。

$$ULT \cdot y_{k,r} - \sum_{(k,r,i,b) \in SL} x_{k,r,i,b}^{a,b} \geq 0 \quad \forall (a,b) \in SU, \forall (k,r) \in SR \quad \text{-----} \quad (11)$$

DEM : 輸送需要量 [トン/年]

x : 輸送貨物量 [トン/年]

y : 就航回数 [回/年]

SU : 需要の集合

SR : 船別の就航可能な航路の集合

SL : 航路別のリンクの集合

MAX : 鉄鉱石船・一般バルク船における最大積載量 [DWT]

ULT : 荷揚げ貨物量の上限值 [トン/(隻・港湾)]

k : 船型を表す添え字

r : 航路を表す添え字

### 9.3 最適化で用いる記号とデータ

最適化では、評価指標を総コストとしており、これは物流コストと CO<sub>2</sub> 排出量を貨幣換算したコストの総計を意味している。物流コストは、貨物費、燃料費、港費、減価償却費、船員費、保険料の総計とする。

貨物費は、保管費と荷役費の総計である。しかし、保管は各製鉄メーカーの所有する敷地内で保管するため、最適化では荷役費のみを考慮する。荷役費は、貨物量(トン数)に比例する。

燃料費は、船型や航海時間に比例する。ここでは、船型毎に燃料単価を求め、航海時間に乗じる事とする。

港費は、入出港費、とん税、水先料、曳船使用料、岸壁使用料の総計とする。港費は、港によって単価が異なるため、港と船型毎に1回あたりの港費を算出した。

減価償却費、船員費、保険料は船型毎に船舶1隻あたりの年間の費用を算出した。

これらの各費用は、第5章の感度分析で用いた算出式から求めた。

対象とする荷揚港は、第7章の感度分析の対象港と同様である。積出港は、各荷揚港に鉄鉱石を輸出している港湾とした。港湾の記号と水深を表9.3-1に示す。

表 9.3-1 港湾別の記号と水深<sup>(1) (2)より作成</sup>

| 港名               | 記号  | 水深<br>(m) |
|------------------|-----|-----------|
| 室蘭               | u01 | 27.0      |
| 鹿島               | u02 | 46.0      |
| 千葉               | u03 | 28.0      |
| 川崎               | u04 | 27.0      |
| 木更津              | u05 | 46.0      |
| 名古屋              | u06 | 27.0      |
| 下津               | u07 | 17.0      |
| 東播磨              | u08 | 20.0      |
| 水島               | u09 | 36.0      |
| 福山               | u10 | 36.0      |
| 呉                | u11 | 18.0      |
| 大分               | u12 | 46.0      |
| 北九州              | u13 | 26.0      |
| Abbot Point      | p01 | 36.0      |
| Dampier          | p02 | 36.0      |
| Esperance        | p03 | 36.0      |
| Hay Point        | p04 | 36.0      |
| Newcastle        | p05 | 36.0      |
| Port Hedland     | p06 | 36.0      |
| Port Walcott     | p07 | 36.0      |
| Ponta da Madeira | p08 | 50.0      |
| Sepetiba         | p09 | 50.0      |
| Tubarao          | p10 | 50.0      |
| Mormugao         | p11 | 36.0      |
| Saldanha Bay     | p12 | 36.0      |

積出港を p とし、荷揚港を u とする。水深はヒアリング調査や参考文献(1)(2)を参考にした。積出港に関しては、データがなかったため、オーストラリア(p01-p07)、インド(p11)、南アフリカ(p12)に関しては船型 30 万 DWT、ブラジルに関しては船型 40 万 DWT の船舶が入出港可能となるような水深を設定した。

船型に関しては、表 9.3-2 に示す。船型 10 万 DWT、船型 20 万 DWT、船型 30 万 DWT、船型 40 万 DWT の 4 種類の船舶を運航する事とする。水深は参考文献(2)を参考に、うねり等の波浪影響が想定されない港内等における、各船型の必要水深とする。

水深の制約に関しては、航路を設定した後、各港湾の水深と各船型の必要水深から、入港の可否を判別し、船型毎に入港可能な航路を抽出した。

表 9.3-2 船型<sup>(1)(2)</sup>より作成

| 船型<br>(DWT) | 記号 | 水深<br>(m) |
|-------------|----|-----------|
| 10万         | s1 | 15.3      |
| 20万         | s2 | 23.9      |
| 30万         | s3 | 32.6      |
| 40万         | s4 | 41.3      |

次に、各積出港と各荷揚港の需要量を表 9.3-3 に、航海距離を表 9.3-4 に示す。また、荷揚港が複数あった場合の検討も行うため、国内港湾間の航海距離を表 9.3-5 に示す。

表 9.3-3 積出港・荷揚港間の需要量<sup>(3)(4)</sup>より作成

|     | u01     | u02       | u03     | u04       | u05       | u06       | u07       | u08       | u09       | u10       | u11       | u12       | u13       |
|-----|---------|-----------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| p01 | 0       | 66,188    | 179,981 | 186,172   | 0         | 31,331    | 0         | 0         | 515,479   | 296,176   | 0         | 70,027    | 165,752   |
| p02 | 177,103 | 1,277,392 | 674,588 | 347,655   | 730,861   | 412,110   | 760,038   | 6,483,728 | 1,535,634 | 1,723,950 | 1,038,070 | 997,773   | 642,366   |
| p03 | 0       | 11,909    | 11,674  | 109,935   | 0         | 37,710    | 125,373   | 0         | 30,988    | 122,837   | 0         | 0         | 107,279   |
| p04 | 754,859 | 1,122,963 | 266,427 | 955,065   | 1,337,447 | 1,672,551 | 724,160   | 0         | 536,368   | 610,850   | 0         | 1,420,271 | 1,194,718 |
| p05 | 990,643 | 1,980,236 | 537,002 | 411,301   | 990,246   | 1,191,571 | 980,846   | 0         | 355,942   | 1,175,838 | 776,267   | 1,413,962 | 1,632,120 |
| p06 | 67,273  | 1,374,208 | 776,959 | 1,473,593 | 733,078   | 230,197   | 277,535   | 0         | 3,988,756 | 3,552,109 | 928,607   | 355,827   | 967,886   |
| p07 | 876,927 | 2,457,146 | 324,150 | 306,002   | 2,883,233 | 3,085,960 | 1,416,516 | 0         | 2,809,514 | 2,391,874 | 970,180   | 2,293,269 | 1,035,755 |
| p08 | 84,329  | 1,434,960 | 0       | 839,339   | 1,789,041 | 882,822   | 941,549   | 1,208,315 | 996,383   | 878,926   | 644,554   | 2,030,031 | 0         |
| p09 | 144,851 | 648,910   | 214,097 | 315,865   | 2,521,018 | 970,462   | 183,953   | 1,208,315 | 744,312   | 652,188   | 572,321   | 2,327,723 | 528,639   |
| p10 | 0       | 637,766   | 347,345 | 746,599   | 2,192,071 | 1,748,264 | 425,994   | 1,208,315 | 392,878   | 961,917   | 0         | 1,931,778 | 1,260,408 |
| p11 | 219,950 | 275,421   | 92,218  | 368,454   | 73,593    | 663,567   | 479,284   | 903,144   | 815,236   | 1,652,821 | 160,767   | 149,181   | 230,798   |
| p12 | 200,112 | 738,744   | 10,020  | 212,302   | 1,981,175 | 99,682    | 276,181   | 317,539   | 429,132   | 0         | 22,204    | 779,117   | 0         |



表 9.3-4 積出港・荷揚港間の航海距離<sup>(5)(6)</sup>より作成

|     | u01    | u02    | u03    | u04    | u05    | u06    | u07    | u08    | u09    | u10    | u11    | u12    | u13    |
|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| p01 | 7,733  | 7,613  | 7,367  | 7,878  | 8,020  | 7,415  | 7,768  | 7,719  | 8,302  | 7,679  | 7,477  | 8,256  | 7,613  |
| p02 | 4,760  | 4,363  | 4,272  | 4,272  | 4,264  | 4,170  | 4,044  | 4,118  | 4,032  | 4,012  | 3,987  | 3,933  | 3,998  |
| p03 | 5,584  | 4,942  | 5,096  | 5,096  | 5,088  | 4,994  | 4,868  | 4,942  | 4,856  | 4,836  | 4,811  | 4,757  | 4,822  |
| p04 | 7,783  | 7,663  | 7,417  | 7,928  | 8,070  | 7,465  | 7,818  | 7,769  | 8,352  | 7,729  | 7,527  | 8,306  | 7,663  |
| p05 | 5,510  | 5,113  | 5,022  | 5,022  | 5,014  | 4,920  | 4,794  | 4,868  | 4,782  | 4,762  | 4,737  | 4,683  | 4,748  |
| p06 | 4,587  | 4,190  | 4,099  | 4,099  | 4,091  | 3,997  | 3,871  | 3,945  | 3,859  | 3,839  | 3,814  | 3,760  | 3,825  |
| p07 | 4,650  | 4,253  | 4,162  | 4,162  | 4,154  | 4,060  | 3,934  | 4,008  | 3,922  | 3,902  | 3,877  | 3,823  | 3,888  |
| p08 | 13,179 | 12,767 | 12,652 | 12,634 | 12,629 | 12,865 | 12,624 | 12,572 | 12,500 | 12,479 | 12,393 | 12,313 | 12,204 |
| p09 | 12,732 | 12,335 | 12,244 | 12,244 | 12,236 | 12,142 | 12,016 | 12,090 | 12,004 | 11,984 | 11,959 | 11,905 | 11,970 |
| p10 | 12,331 | 11,934 | 11,843 | 11,843 | 11,835 | 11,741 | 11,615 | 11,689 | 11,603 | 11,583 | 11,558 | 11,504 | 11,569 |
| p11 | 9,192  | 8,795  | 8,704  | 8,704  | 8,696  | 8,602  | 8,476  | 8,550  | 8,464  | 8,444  | 8,419  | 8,365  | 8,430  |
| p12 | 3,735  | 3,338  | 3,247  | 3,247  | 3,239  | 3,145  | 3,019  | 3,093  | 3,007  | 2,987  | 2,962  | 2,908  | 2,973  |

表 9.3-5 国内港湾間の航海距離<sup>(5)(6)</sup>より作成

|     | u01   | u02 | u03 | u04 | u05 | u06 | u07 | u08 | u09 | u10 | u11 | u12 | u13   |
|-----|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| u01 | 0     | 405 | 555 | 545 | 550 | 671 | 794 | 829 | 856 | 969 | 925 | 836 | 1,254 |
| u02 | 405   | 0   | 156 | 143 | 138 | 271 | 388 | 435 | 486 | 503 | 584 | 561 | 625   |
| u03 | 555   | 156 | 0   | 18  | 10  | 214 | 331 | 378 | 429 | 446 | 527 | 504 | 568   |
| u04 | 545   | 143 | 18  | 0   | 5   | 204 | 321 | 368 | 419 | 436 | 517 | 494 | 558   |
| u05 | 550   | 138 | 10  | 5   | 0   | 199 | 316 | 363 | 414 | 431 | 512 | 489 | 553   |
| u06 | 671   | 271 | 214 | 204 | 199 | 0   | 193 | 241 | 291 | 309 | 389 | 467 | 432   |
| u07 | 794   | 388 | 331 | 321 | 316 | 193 | 0   | 52  | 102 | 120 | 200 | 230 | 270   |
| u08 | 829   | 435 | 378 | 368 | 363 | 241 | 52  | 0   | 72  | 76  | 157 | 187 | 226   |
| u09 | 856   | 486 | 429 | 419 | 414 | 291 | 102 | 72  | 0   | 21  | 104 | 134 | 173   |
| u10 | 969   | 503 | 446 | 436 | 431 | 309 | 120 | 76  | 21  | 0   | 86  | 116 | 155   |
| u11 | 925   | 584 | 527 | 517 | 512 | 389 | 200 | 157 | 104 | 86  | 0   | 80  | 116   |
| u12 | 836   | 561 | 504 | 494 | 489 | 467 | 230 | 187 | 134 | 116 | 80  | 0   | 109   |
| u13 | 1,254 | 625 | 568 | 558 | 553 | 432 | 270 | 226 | 173 | 155 | 116 | 109 | 0     |

表 9.3-4 及び表 9.3-5 から航海時間を算出し、入出港時間と荷役時間を加算した時間を船型別、航路別に算出した。入出港時間や荷役時間は、航海士からのヒアリング調査結果を用い、1 港毎に入出港、荷役時間、荷役などの待ち時間の合計を 7 日間として計算した。

## 9.4 分析で用いるソフトウェアとモデルの記述

最適化を行う際に、GNU Linear Programming Kit のフリーソフトウェア(以下、GLPK)<sup>(7)</sup>と、非商用の SCIP を用いる。線形計画問題(LP)や混合整数計画問題(MIP)を解くためのソルバーである。本分析では、GLPK で LP ファイルを作成し、SCIP で解いた(図 9.4-1)。

```
(round 5) 606315 del vars, 562849 del conss, 0 add conss, 186040 chg bounds, 153
9 chg sides, 0 chg coeffs, 0 upgd conss, 0 impls, 0 clas
(round 6) 606336 del vars, 562849 del conss, 0 add conss, 186040 chg bounds, 153
9 chg sides, 0 chg coeffs, 0 upgd conss, 0 impls, 0 clas
(round 7) 608508 del vars, 562849 del conss, 0 add conss, 186040 chg bounds, 153
9 chg sides, 0 chg coeffs, 0 upgd conss, 0 impls, 0 clas
(round 8) 609044 del vars, 562983 del conss, 0 add conss, 186040 chg bounds, 153
9 chg sides, 0 chg coeffs, 0 upgd conss, 0 impls, 0 clas
presolving (9 rounds):
  609044 deleted vars, 562983 deleted constraints, 0 added constraints, 186040 ti
htened bounds, 0 added holes, 1539 changed sides, 0 changed coefficients
  0 implications, 0 cliques
presolved problem has 4 variables (0 bin, 0 int, 0 impl, 4 cont) and 1 constrain
ts
  1 constraints of type <linear>
Presolving Time: 14.26

time | node | left | LP iter | LP it/nl | mem | lmbdt | lfrac | lvars | lcons | lcols | lrows
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|cuts | confs | strbrl | dualbound | primalbound | gap |
t19.4s | 1 | 0 | 0 | - | 1149M | 0 | - | 4 | 1 | 0 | 0
| 0 | 0 | 0 | -- | 6.173358e+011 | Inf
*19.4s | 1 | 0 | 1 | - | 1141M | 0 | - | 4 | 1 | 4 | 1
| 0 | 0 | 0 | 6.169482e+011 | 6.169482e+011 | 0.00%
19.4s | 1 | 0 | 1 | - | 1141M | 0 | - | 4 | 1 | 4 | 1
| 0 | 0 | 0 | 6.169482e+011 | 6.169482e+011 | 0.00%

SCIP Status      : problem is solved [optimal solution found]
Solving Time (sec) : 19.43
Solving Nodes    : 1
Primal Bound     : +6.16948228130683e+011 (2 solutions)
Dual Bound      : +6.16948228130683e+011
Gap             : 0.00 %

SCIP> write solution mp17.txt
written solution information to file <mp17.txt>

SCIP>
```

```
# mp15.mod ; mp17.dat ; 2015/07/08
# コスト+CO2最小化 データ
# 水深制約なし
/* 船の集合 */
set SHIP := s1 s2 s3 s4;

/* 港の集合 */
set PORT := p01 p02 p03 p04 p05 p06 p07 p08 pC

/* 航路の集合 */
set SR :=
s1 r01
s1 r02
s1 r03
s1 r04
s1 r05
s1 r06
s1 r07
s1 r08
s1 r09
s1 r10
s1 r11
s1 r12
s1 r13
s1 r14
s1 r15
s1 r16
s1 r17
s1 r18
s1 r19
s1 r20
s1 r21
s1 r22
s1 r23
s1 r24
s1 r25
s1 r26
s1 r27
s1 r28
s1 r29
s1 r30
s1 r31
s1 r32
s1 r33
s1 r34
s1 r35
```

図 9.4-1 稼働中の GLPK と SCIP

まず、モデルでの対象となる集合(set)を示す。本研究では、船舶の船型、港、航路、リンクを集合として記述する。

船型の集合(set SHIP)として、s1 から s4 で定義する。港の集合(set PORT)として、p01 から p12 を積出港、u01 から u13 を荷揚港として設定する。航路の集合(set SR)として、船型と全航路の組み合わせを記述する。航路は r01 から r388 とする。なお、港湾毎の水深と船型毎の必要水深、そして、第 7 章の感度分析の結果を踏まえた航路である。

次に、パラメータ(param)の設定を行う。集合として定義した船型の最大積載重量を 10 万 DWT、20 万 DWT、30 万 DWT、40 万 DWT とする。C01 から C04、及び、C06 をコストの単価とし、C05 を就航可能回数とする。C01 は貨物費であり、全貨物量が一定となるため、本研究では定数として扱う。C02 は燃料費単価、C03 は港費単価である。1 隻の船舶が 1 回航海した費用を船型別及び航路別に算出した値を単価としている。C04 は船費単価である。船型別に、1 隻の船舶が 1 年あたりにかかる、減価償却費、船員費、保険料の総計とする。C06 は CO<sub>2</sub> 排出量をコストに換算した値であり、燃料費単価や港費単価と同様、1 隻

の船舶が1回航海した値を算出している。C05は就航可能回数とし、船型別及び航路別に、1隻あたり何回就航可能となるか算出した値である。

作成したデータベースを表9.4-1に示す。まず、設定した全航路において、港湾の水深と船舶の船型毎の必要水深による、入港の可否を求め、入港可能となる航路と船型を抽出した。そして、これらの航路毎でかかる燃料費と港費を纏めた。

表 9.4-1 設定した航路と費用のデータベースの一例

| 船型 | 航路   | No. | 燃料コード                    | 燃料費          | 港費コード                    | 港費           | 就航可能回数コード                 | 就航可能回数 | 航海時間  | 荷役時間  | 港数 | 提出権取引コード                 | 提出権取引     |
|----|------|-----|--------------------------|--------------|--------------------------|--------------|---------------------------|--------|-------|-------|----|--------------------------|-----------|
| s1 | r01  | 1   | s1 r01 1072508.28728461  | 1,072,508.29 | s1 r01 1796214.21788466  | 1,796,214.22 | s1 r01 0.163595909363131  | 0.1636 | 0.125 | 0.038 | 2  | s1 r01 39850.7871738803  | 39,850.79 |
| s1 | r02  | 2   | s1 r02 1055865.19993505  | 1,055,865.20 | s1 r02 1620399.37965956  | 1,620,399.38 | s1 r02 0.16165245024021   | 0.1617 | 0.123 | 0.038 | 2  | s1 r02 39246.0718557352  | 39,246.07 |
| s1 | r03  | 3   | s1 r03 1021746.87086845  | 1,021,746.87 | s1 r03 1542809.68009866  | 1,542,809.68 | s1 r03 0.157668359038222  | 0.1577 | 0.119 | 0.038 | 2  | s1 r03 38006.4054535378  | 38,006.41 |
| s1 | r04  | 4   | s1 r04 1092618.68449866  | 1,092,618.68 | s1 r04 2028237.88324172  | 2,028,237.88 | s1 r04 0.165944255803327  | 0.1659 | 0.128 | 0.038 | 2  | s1 r04 40581.4848499723  | 40,581.48 |
| s1 | r05  | 5   | s1 r05 1112313.00452898  | 1,112,313.00 | s1 r05 1542809.68009866  | 1,542,809.68 | s1 r05 0.168244015765451  | 0.1682 | 0.130 | 0.038 | 2  | s1 r05 41297.0646431107  | 41,297.06 |
| s1 | r06  | 6   | s1 r06 1028404.10580828  | 1,028,404.11 | s1 r06 1969710.80096763  | 1,969,710.80 | s1 r06 0.15844574268739   | 0.1584 | 0.120 | 0.038 | 2  | s1 r06 38248.2915807958  | 38,248.29 |
| s1 | r07  | 7   | s1 r07 1077362.5210949   | 1,077,362.52 | s1 r07 1574614.16704112  | 1,574,614.17 | s1 r07 0.164162751607317  | 0.1642 | 0.126 | 0.038 | 2  | s1 r07 40027.162475006   | 40,027.16 |
| s1 | r08  | 8   | s1 r08 1070566.5937605   | 1,070,566.59 | s1 r08 1574321.45153384  | 1,574,321.45 | s1 r08 0.163369172465457  | 0.1634 | 0.125 | 0.038 | 2  | s1 r08 39780.2370534301  | 39,780.24 |
| s1 | r09  | 9   | s1 r09 1151424.25980045  | 1,151,424.26 | s1 r09 2466386.53958561  | 2,466,386.54 | s1 r09 0.172811144704315  | 0.1728 | 0.134 | 0.038 | 2  | s1 r09 42718.1456407516  | 42,718.15 |
| s1 | r10  | 10  | s1 r10 1065018.89797731  | 1,065,018.90 | s1 r10 1719268.64635704  | 1,719,268.65 | s1 r10 0.162721352757817  | 0.1627 | 0.124 | 0.038 | 2  | s1 r10 39578.665280715   | 39,578.67 |
| s1 | r100 | 100 | s1 r100 1733654.93224591 | 1,733,654.93 | s1 r100 2466386.53958561 | 2,466,386.54 | s1 r100 0.240799823021169 | 0.2408 | 0.202 | 0.038 | 2  | s1 r100 63873.1031871939 | 63,873.10 |
| s1 | r101 | 101 | s1 r101 1730742.39195974 | 1,730,742.39 | s1 r101 1719268.64635704 | 1,719,268.65 | s1 r101 0.240459717674658 | 0.2405 | 0.202 | 0.038 | 2  | s1 r101 63767.2780065186 | 63,767.28 |
| s1 | r102 | 102 | s1 r102 1718814.84602589 | 1,718,814.85 | s1 r102 1736833.82384722 | 1,736,833.82 | s1 r102 0.239066905303231 | 0.2391 | 0.201 | 0.038 | 2  | s1 r102 63333.8986951812 | 63,333.90 |
| s1 | r103 | 103 | s1 r103 1707719.45445952 | 1,707,719.45 | s1 r103 1330392.80212316 | 1,330,392.80 | s1 r103 0.237771265887951 | 0.2378 | 0.199 | 0.038 | 2  | s1 r103 62930.7551497512 | 62,930.76 |
| s1 | r104 | 104 | s1 r104 1692601.98345033 | 1,692,601.98 | s1 r104 1974350.08222485 | 1,974,350.08 | s1 r104 0.23600597184631  | 0.2360 | 0.198 | 0.038 | 2  | s1 r104 62381.4720691027 | 62,381.47 |
| s1 | r105 | 105 | s1 r105 1765831.5677884  | 1,765,831.57 | s1 r105 1796214.21788466 | 1,796,214.22 | s1 r105 0.244557177325483 | 0.2446 | 0.206 | 0.038 | 2  | s1 r105 65042.2194689411 | 65,042.22 |
| s1 | r106 | 106 | s1 r106 1710770.68714027 | 1,710,770.69 | s1 r106 1620399.37965956 | 1,620,399.38 | s1 r106 0.238127566727153 | 0.2381 | 0.200 | 0.038 | 2  | s1 r106 63041.6196274444 | 63,041.62 |
| s1 | r107 | 107 | s1 r107 1698149.67923352 | 1,698,149.68 | s1 r107 1542809.68009866 | 1,542,809.68 | s1 r107 0.236653776892271 | 0.2367 | 0.198 | 0.038 | 2  | s1 r107 64.83728         | 64.84     |
| s1 | r108 | 108 | s1 r108 1698149.67923352 | 1,698,149.68 | s1 r108 2028237.88324172 | 2,028,237.88 | s1 r108 0.236653776892271 | 0.2367 | 0.198 | 0.038 | 2  | s1 r108 62583.0438418178 | 62,583.04 |
| s1 | r109 | 109 | s1 r109 1697040.14007688 | 1,697,040.14 | s1 r109 1542809.68009866 | 1,542,809.68 | s1 r109 0.236524212950743 | 0.2365 | 0.198 | 0.038 | 2  | s1 r109 62542.7294872747 | 62,542.73 |
| s1 | r11  | 11  | s1 r11 1037003.03427222  | 1,037,003.03 | s1 r11 1736833.82384722  | 1,736,833.82 | s1 r11 0.159449863234233  | 0.1594 | 0.121 | 0.038 | 2  | s1 r11 38560.7278285041  | 38,560.73 |
| s1 | r110 | 110 | s1 r110 1684003.05498639 | 1,684,003.05 | s1 r110 1969710.80096763 | 1,969,710.80 | s1 r110 0.235061836637788 | 0.2350 | 0.197 | 0.038 | 2  | s1 r110 62069.0358213944 | 62,069.04 |
| s1 | r111 | 111 | s1 r111 1666527.81326935 | 1,666,527.81 | s1 r111 1574614.16704112 | 1,574,614.17 | s1 r111 0.232961204558721 | 0.2330 | 0.195 | 0.038 | 2  | s1 r111 61434.0847373421 | 61,434.08 |
| s1 | r112 | 112 | s1 r112 1676791.05046825 | 1,676,791.05 | s1 r112 1574321.45153384 | 1,574,321.45 | s1 r112 0.234159671017856 | 0.2342 | 0.196 | 0.038 | 2  | s1 r112 61806.9925168649 | 61,806.99 |
| s1 | r113 | 113 | s1 r113 1664863.5045344  | 1,664,863.50 | s1 r113 2466386.53958561 | 2,466,386.54 | s1 r113 0.232766858646429 | 0.2328 | 0.194 | 0.038 | 2  | s1 r113 61373.6132055276 | 61,373.61 |
| s1 | r114 | 114 | s1 r114 1662089.6566428  | 1,662,089.66 | s1 r114 1719268.64635704 | 1,719,268.65 | s1 r114 0.232442948792609 | 0.2324 | 0.194 | 0.038 | 2  | s1 r114 61272.8273191701 | 61,272.83 |
| s1 | r115 | 115 | s1 r115 1658622.34677831 | 1,658,622.35 | s1 r115 1736833.82384722 | 1,736,833.82 | s1 r115 0.232038061475334 | 0.2320 | 0.194 | 0.038 | 2  | s1 r115 61146.8449612232 | 61,146.84 |
| s1 | r116 | 116 | s1 r116 1651132.95747101 | 1,651,132.96 | s1 r116 1330392.80212316 | 1,330,392.80 | s1 r116 0.231163504870019 | 0.2312 | 0.193 | 0.038 | 2  | s1 r116 60874.7230680579 | 60,874.72 |
| s1 | r117 | 117 | s1 r117 1660147.96311869 | 1,660,147.96 | s1 r117 1974350.08222485 | 1,974,350.08 | s1 r117 0.232216211894935 | 0.2322 | 0.194 | 0.038 | 2  | s1 r117 61202.2771987198 | 61,202.28 |
| s1 | r118 | 118 | s1 r118 1710215.91756195 | 1,710,215.92 | s1 r118 1796214.21788466 | 1,796,214.22 | s1 r118 0.238062784756389 | 0.2381 | 0.200 | 0.038 | 2  | s1 r118 63021.4624474729 | 63,021.46 |
| :  | :    | :   | :                        | :            | :                        | :            | :                         | :      | :     | :     | :  | :                        | :         |
| :  | :    | :   | :                        | :            | :                        | :            | :                         | :      | :     | :     | :  | :                        | :         |



## 9.5 最適化の結果

### 9.5.1 水深と荷揚げ貨物量を加味した最適化

まず、9.5.1 節では、現状に近い状態で最適化を行うため、一度に荷揚げ可能な貨物量と水深に制約を加えて分析を行った。

荷揚げ貨物量の上限は、一般バルク船の航海士にヒアリング調査を行った結果を参考にしている。話を伺ったところ、船型 20 万 DWT 級の一般バルク船では、1 港において 1～3 ホールド分の貨物を荷揚げする事が多いとの事であった。故に、1 港で荷揚げ可能な貨物量の上限値を 5 万トン、10 万トン、15 万トンとして算出した。

水深の制約では、航路  $r$  において寄港する港湾に船型  $k$  が入港可能か判定を行い、入港可能となる組み合わせのみ抽出した。

結果は、242 億 USD/年、201 億 USD/年、192 億 USD/年となった。貨物量の上限が 5 万トンと 15 万トンとの差額は約 50 億 USD となった。このことから、各港湾において、荷揚げ可能な貨物量が多い程、槽コストは低くなると言える。

利用される船型を見るため、表 9.5-1 には、貨物量の上限別及び船型別の航路数と就航回数を示す。

表 9.5-1 貨物量の上限別・船型別の航路数と就航回数計

| 貨物量の上限<br>(トン/(回・港)) | 船型<br>(DWT) | 航路数 | 航路数計 | 就航回数<br>(回/年) | 就航回数計<br>(回/年) |
|----------------------|-------------|-----|------|---------------|----------------|
| 5万                   | 10万         | 133 | 133  | 1275.262      | 1275.262       |
| 10万                  | 10万         | 128 | 135  | 1136.168      | 1184.310       |
|                      | 20万         | 7   |      | 48.142        |                |
| 15万                  | 10万         | 128 | 135  | 496.691       | 864.571        |
|                      | 20万         | 7   |      | 367.881       |                |

航路数計と就航回数計を見ると、利用される航路数には僅かしか差は無いが、就航回数はよって大きく差が生じる事が分かった。特に、貨物量の上限が 5 万トンの場合は 1,275 回と、非常に多い結果となった。これは、貨物量の上限値が小さく、少量多頻度で輸送する必要があるためである。また、船型 30 万 DWT や船型 40 万 DWT などの大型船が用いられていないが、これは水深による制約が大きく影響を与えているためだと考えられる。

更に、用いられる船舶を貨物量の上限値別に見る。貨物量の上限が 5 万トンの場合は、船型 10 万 DWT の船舶のみであった。一方、貨物量の上限が 10 万トンと 15 万トンの場合には、船型 10 万 DWT と船型 20 万 DWT の船舶が用いられている。

感度分析の結果から、大型船で一括大量輸送を行うとコストは低く、大型化する程、削減効果があった。しかし、貨物量や水深に制約があった場合、利用される船舶の船型は 10 万 DWT が最も多く、荷揚量の上限值によって、適切な船型が異なる事が分かった。

次に、表 9.5-2 には、貨物量の上限別及び船型別の荷揚港数、航路数と就航回数を示す。

表 9.5-2 貨物量の上限別・船型別の航路数と就航回数計

| 貨物量の上限<br>(トン/(回・港)) | 船型<br>(DWT) | 荷揚港数 | 航路数 | 航路数計 | 就航回数<br>(回/年) | 就航回数計<br>(回/年) |
|----------------------|-------------|------|-----|------|---------------|----------------|
| 5万                   | 10万         | 1    | 6   | 133  | 85.620        | 1275.262       |
|                      | 10万         | 2    | 77  |      | 771.978       |                |
|                      | 10万         | 3    | 50  |      | 417.663       |                |
| 10万                  | 10万         | 1    | 128 | 135  | 1136.168      | 1184.310       |
|                      | 20万         | 2    | 7   |      | 48.142        |                |
| 15万                  | 10万         | 1    | 50  | 135  | 496.691       | 864.571        |
|                      | 20万         | 1    | 85  |      | 367.881       |                |

貨物量の上限值別に荷揚港数を見ると、貨物量の上限が 5 万トンであった場合には、複数港揚げが多く見られた。しかし、貨物量の上限が 10 万トンや 15 万トンの場合は、殆どがシャトル輸送であった。この事から、荷揚げ可能な貨物量に上限がなかった場合には、シャトル輸送が良さそうであると言える。

貨物量の上限值が低い程、総コストが高くなっている。この理由は、複数の荷揚港に寄港する航路が増加したためである。荷揚港が複数になると、荷揚港間の航海距離が増加する事により、1 航海あたりの航海距離は増加し、更に、就航回数が増加する事から、燃料費や港費は増加する。また、1 隻あたりの年間就航可能回数が減少する事から、必要隻数が増加し、船費が増加する。このような理由から、貨物量の上限值が低い場合、総コストが高くなっていると考えられる。

表 9.5-3 から表 9.5-5 には、船型別の航路を就航回数上位 30 位までを示す。表は全て、就航回数を降順で示している。

当然の事ではあるが、全ての場合において、積出港と荷揚港の輸送需要量の多い順番となった。

複数の荷揚港に寄港している、貨物量の上限が 5 万トンの場合(表 9.5-3)を見る。複数港揚げを行っている航路の荷揚港に着目すると、寄港している荷揚港は、どれも近距離である事が読み取れる。

表 9.5-3 貨物量の上限 5 万トンの場合の船型別の航路 就航回数上位 30 位

| 船型<br>(DWT) | 航路   | 積出港              | 荷揚港              | 荷揚港<br>数 | 就航回数<br>(回/年) |
|-------------|------|------------------|------------------|----------|---------------|
| 10万         | r205 | Port Hedland     | 水島<br>大分         | 2        | 50.110        |
| 10万         | r21  | Dampier          | 東播磨              | 1        | 49.282        |
| 10万         | r215 | Port Walcott     | 水島<br>福山         | 2        | 34.975        |
| 10万         | r169 | Dampier          | 福山<br>東播磨        | 2        | 34.479        |
| 10万         | r212 | Port Walcott     | 名古屋<br>鹿島        | 2        | 31.604        |
| 10万         | r281 | Dampier          | 福山<br>水島<br>東播磨  | 3        | 30.713        |
| 10万         | r209 | Port Walcott     | 名古屋<br>木更津       | 2        | 30.115        |
| 10万         | r220 | Ponta da Madeira | 木更津<br>鹿島        | 2        | 27.013        |
| 10万         | r200 | Port Hedland     | 川崎<br>鹿島         | 2        | 25.065        |
| 10万         | r310 | Newcastle        | 北九州<br>大分<br>呉   | 3        | 23.517        |
| 10万         | r242 | Tubarao          | 木更津<br>名古屋       | 2        | 22.086        |
| 10万         | r302 | Hay Point        | 大分<br>水島<br>下津   | 3        | 20.969        |
| 10万         | r332 | Port Walcott     | 名古屋<br>木更津<br>川崎 | 3        | 20.715        |
| 10万         | r189 | Newcastle        | 鹿島<br>室蘭         | 2        | 19.813        |
| 10万         | r307 | Newcastle        | 鹿島<br>木更津<br>名古屋 | 3        | 19.805        |
| 10万         | r232 | Sepetiba         | 木更津<br>名古屋       | 2        | 19.409        |
| 10万         | r331 | Port Walcott     | 水島<br>呉<br>大分    | 3        | 19.404        |
| 10万         | r208 | Sepetiba         | 水島<br>北九州        | 2        | 19.358        |
| 10万         | r339 | Ponta da Madeira | 大分<br>東播磨<br>下津  | 3        | 18.831        |
| 10万         | r247 | Tubarao          | 大分<br>北九州        | 2        | 18.408        |
| 10万         | r183 | Hay Point        | 名古屋<br>鹿島        | 2        | 18.354        |
| 10万         | r294 | Hay Point        | 名古屋<br>木更津<br>川崎 | 3        | 18.208        |
| 10万         | r327 | Port Walcott     | 名古屋<br>鹿島<br>室蘭  | 3        | 17.539        |
| 10万         | r214 | Port Walcott     | 水島<br>下津         | 2        | 15.468        |
| 10万         | r195 | Newcastle        | 北九州<br>呉         | 2        | 15.454        |
| 10万         | r224 | Ponta da Madeira | 大分<br>福山         | 2        | 15.348        |
| 10万         | r283 | Dampier          | 福山<br>東播磨<br>下津  | 3        | 15.201        |
| 10万         | r184 | Hay Point        | 名古屋<br>室蘭        | 2        | 15.097        |
| 10万         | r253 | Mormugao         | 福山<br>水島         | 2        | 15.035        |
| 10万         | r83  | Port Walcott     | 木更津              | 1        | 14.947        |



表 9.5-4 貨物量の上限 10 万トンの場合の船型別の航路 就航回数上位 30 位

| 船型<br>(DWT) | 航路   | 積出港              | 荷揚港       | 荷揚港<br>数 | 就航回数<br>(回/年) |
|-------------|------|------------------|-----------|----------|---------------|
| 10万         | r21  | Dampier          | 東播磨       | 1        | 64.837        |
| 10万         | r74  | Port Hedland     | 水島        | 1        | 39.888        |
| 10万         | r75  | Port Hedland     | 福山        | 1        | 35.521        |
| 10万         | r84  | Port Walcott     | 名古屋       | 1        | 30.860        |
| 10万         | r83  | Port Walcott     | 木更津       | 1        | 28.832        |
| 10万         | r87  | Port Walcott     | 水島        | 1        | 28.095        |
| 10万         | r80  | Port Walcott     | 鹿島        | 1        | 24.571        |
| 10万         | r88  | Port Walcott     | 福山        | 1        | 23.919        |
| 10万         | r90  | Port Walcott     | 大分        | 1        | 22.933        |
| 10万         | r148 | Saldanha Bay     | 木更津       | 1        | 19.812        |
| 10万         | r54  | Newcastle        | 鹿島        | 1        | 19.802        |
| 10万         | r129 | Tubarao          | 大分        | 1        | 19.318        |
| 10万         | r123 | Tubarao          | 名古屋       | 1        | 17.483        |
| 10万         | r23  | Dampier          | 福山        | 1        | 17.240        |
| 10万         | r116 | Sepetiba         | 大分        | 1        | 16.755        |
| 10万         | r45  | Hay Point        | 名古屋       | 1        | 16.726        |
| 10万         | r109 | Sepetiba         | 木更津       | 1        | 16.580        |
| 10万         | r140 | Mormugao         | 福山        | 1        | 16.528        |
| 10万         | r65  | Newcastle        | 北九州       | 1        | 16.321        |
| 10万         | r22  | Dampier          | 水島        | 1        | 15.356        |
| 10万         | r69  | Port Hedland     | 川崎        | 1        | 14.736        |
| 20万         | r220 | Ponta da Madeira | 木更津<br>鹿島 | 2        | 14.350        |
| 10万         | r51  | Hay Point        | 大分        | 1        | 14.203        |
| 10万         | r85  | Port Walcott     | 下津        | 1        | 14.165        |
| 10万         | r64  | Newcastle        | 大分        | 1        | 14.140        |
| 10万         | r67  | Port Hedland     | 鹿島        | 1        | 13.742        |
| 10万         | r44  | Hay Point        | 木更津       | 1        | 13.374        |
| 10万         | r15  | Dampier          | 鹿島        | 1        | 12.774        |
| 10万         | r130 | Tubarao          | 北九州       | 1        | 12.604        |
| 10万         | r112 | Sepetiba         | 東播磨       | 1        | 12.083        |

表 9.5-4 貨物量の上限 15 万トンの場合の船型別の航路 就航回数上位 30 位

| 船型<br>(DWT) | 航路   | 積出港              | 荷揚港 | 荷揚港<br>数 | 就航回数<br>(回/年) |
|-------------|------|------------------|-----|----------|---------------|
| 20万         | r21  | Dampier          | 東播磨 | 1        | 64.837        |
| 20万         | r74  | Port Hedland     | 水島  | 1        | 39.888        |
| 20万         | r75  | Port Hedland     | 福山  | 1        | 35.521        |
| 20万         | r84  | Port Walcott     | 名古屋 | 1        | 30.860        |
| 20万         | r87  | Port Walcott     | 水島  | 1        | 28.095        |
| 20万         | r65  | Newcastle        | 北九州 | 1        | 16.321        |
| 20万         | r22  | Dampier          | 水島  | 1        | 15.356        |
| 10万         | r69  | Port Hedland     | 川崎  | 1        | 14.736        |
| 20万         | r83  | Port Walcott     | 木更津 | 1        | 14.416        |
| 20万         | r85  | Port Walcott     | 下津  | 1        | 14.165        |
| 20万         | r109 | Sepetiba         | 木更津 | 1        | 12.605        |
| 10万         | r130 | Tubarao          | 北九州 | 1        | 12.604        |
| 20万         | r80  | Port Walcott     | 鹿島  | 1        | 12.286        |
| 10万         | r99  | Ponta da Madeira | 東播磨 | 1        | 12.083        |
| 10万         | r112 | Sepetiba         | 東播磨 | 1        | 12.083        |
| 10万         | r125 | Tubarao          | 東播磨 | 1        | 12.083        |
| 10万         | r88  | Port Walcott     | 福山  | 1        | 11.959        |
| 20万         | r52  | Hay Point        | 北九州 | 1        | 11.947        |
| 10万         | r116 | Sepetiba         | 大分  | 1        | 11.639        |
| 20万         | r90  | Port Walcott     | 大分  | 1        | 11.466        |
| 10万         | r122 | Tubarao          | 木更津 | 1        | 10.960        |
| 20万         | r24  | Dampier          | 呉   | 1        | 10.381        |
| 20万         | r91  | Port Walcott     | 北九州 | 1        | 10.358        |
| 20万         | r103 | Ponta da Madeira | 大分  | 1        | 10.150        |
| 20万         | r148 | Saldanha Bay     | 木更津 | 1        | 9.906         |
| 10万         | r54  | Newcastle        | 鹿島  | 1        | 9.901         |
| 10万         | r59  | Newcastle        | 下津  | 1        | 9.808         |
| 20万         | r89  | Port Walcott     | 呉   | 1        | 9.702         |
| 10万         | r78  | Port Hedland     | 北九州 | 1        | 9.679         |
| 20万         | r129 | Tubarao          | 大分  | 1        | 9.659         |

9.5.1 節の結果から、荷揚げ可能な貨物量の上限や水深の制約によって、利用される船型や荷揚港数に影響を与えている事が分かった。そこで、水深や貨物量の上限を緩和した場合の分析を行う。

### 9.5.2 貨物量の上限を緩和した最適化

9.5.2 節では、貨物量の上限に制約を加えた場合の最適化の結果を示す。総コストの最小値は 192 億 USD/年となった。9.5.1 節の貨物量の上限が 5 万トン、10 万トン、15 万トンの場合と総コストを比較すると、差額は概ね、-49,746 万 USD、-8,890 万 USD、-573 万 USD となった。

最小値となった場合に用いられた船舶の船型別の航路数、就航回数を表 9.5-5 に示す。

表 9.5-5 船型別の航路数・就航回数計

| 船型<br>(DWT) | 航路数 | 就航回数計<br>(回/年) |
|-------------|-----|----------------|
| 10万         | 50  | 496.691        |
| 20万         | 80  | 332.484        |
| 30万         | 5   | 23.598         |

まず、船型別に航路数を見ると、船型 20 万 DWT の船舶を用いる航路が最も多く、次点で船型 10 万 DWT となった。これは、水深に制約があった場合と同様の傾向である。貨物量に上限があった場合、船型 30 万 DWT の船舶が用いられる航路はなかったが、制約を加えない場合には 5 航路も増えた。

船型 20 万 DWT を用いた航路数は、船型 10 万 DWT を用いた航路数よりも多く、その差は 30 航路となった。貨物量の上限が 10 万トンと 20 万トンの場合には、船型 20 万 DWT の船舶を用いる航路は 7 航路のみであり、貨物量に上限がない場合には 73 航路も増えた。

次に、船型別に就航回数計を見ると、船型 10 万 DWT が最も多く、次点で船型 20 万 DWT となった。船型 10 万 DWT の就航回数計が多い理由は、他の船型よりも多頻度で輸送する必要があるためである。貨物量に上限があった場合、上限が 5 万トンの場合は約 1,275 回、10 万トンの場合は約 1,184 回、15 万トンの場合は約 865 回であった。上限がない場合は、約 853 回となり、貨物量の上限がある場合と比較すると減少した。

貨物量の上限がない場合には、船型 20DWT の船舶を用いると良さそうである。

表 9.5-6 には、船型別及び航路別の就航回数計を示す。結果は、就航回数上位 50 位の船型と航路の組み合わせであり、就航回数が降順になるように示している。

表を見ると、当然の事ではあるが、積出港と荷揚港間の輸送需要量の多い順番となった。参考に、表 9.5-7、港湾別の年間総輸送需要量を示す。なお、需要量の上位 20 位まで降順に示す。



表 9.5-6 船型別・航路別の就航回数計

| 船型<br>(DWT) | 航路   | 就航回数計<br>(回/年) | 積出港              | 荷揚港 |
|-------------|------|----------------|------------------|-----|
| s1          | r21  | 64.837         | Dampier          | 東播磨 |
| s1          | r74  | 39.888         | Port Hedland     | 水島  |
| s1          | r75  | 35.521         | Port Hedland     | 福山  |
| s1          | r84  | 30.860         | Port Walcott     | 名古屋 |
| s1          | r87  | 28.095         | Port Walcott     | 水島  |
| s1          | r65  | 16.321         | Newcastle        | 北九州 |
| s1          | r22  | 15.356         | Dampier          | 水島  |
| s1          | r69  | 14.736         | Port Hedland     | 川崎  |
| s2          | r83  | 14.416         | Port Walcott     | 木更津 |
| s1          | r85  | 14.165         | Port Walcott     | 下津  |
| s2          | r109 | 12.605         | Sepetiba         | 木更津 |
| s1          | r130 | 12.604         | Tubarao          | 北九州 |
| s2          | r80  | 12.286         | Port Walcott     | 鹿島  |
| s1          | r125 | 12.083         | Tubarao          | 東播磨 |
| s1          | r99  | 12.083         | Ponta da Madeira | 東播磨 |
| s1          | r112 | 12.083         | Sepetiba         | 東播磨 |
| s2          | r88  | 11.959         | Port Walcott     | 福山  |
| s1          | r52  | 11.947         | Hay Point        | 北九州 |
| s2          | r90  | 11.466         | Port Walcott     | 大分  |
| s2          | r122 | 10.960         | Tubarao          | 木更津 |
| s1          | r24  | 10.381         | Dampier          | 呉   |
| s1          | r91  | 10.358         | Port Walcott     | 北九州 |
| s2          | r148 | 9.906          | Saldanha Bay     | 木更津 |
| s2          | r54  | 9.901          | Newcastle        | 鹿島  |
| s1          | r59  | 9.808          | Newcastle        | 下津  |
| s1          | r89  | 9.702          | Port Walcott     | 呉   |
| s1          | r78  | 9.679          | Port Hedland     | 北九州 |
| s2          | r129 | 9.659          | Tubarao          | 大分  |
| s1          | r98  | 9.415          | Ponta da Madeira | 下津  |
| s1          | r76  | 9.286          | Port Hedland     | 呉   |
| s1          | r138 | 9.031          | Mormugao         | 東播磨 |
| s2          | r96  | 8.945          | Ponta da Madeira | 木更津 |
| s2          | r123 | 8.741          | Tubarao          | 名古屋 |
| s2          | r23  | 8.620          | Dampier          | 福山  |
| s2          | r45  | 8.363          | Hay Point        | 名古屋 |
| s2          | r140 | 8.264          | Mormugao         | 福山  |
| s1          | r63  | 7.763          | Newcastle        | 呉   |
| s3          | r116 | 7.759          | Sepetiba         | 大分  |
| s1          | r20  | 7.600          | Dampier          | 下津  |
| s1          | r46  | 7.242          | Hay Point        | 下津  |
| s2          | r51  | 7.101          | Hay Point        | 大分  |
| s2          | r64  | 7.070          | Newcastle        | 大分  |
| s2          | r67  | 6.871          | Port Hedland     | 鹿島  |
| s3          | r103 | 6.767          | Ponta da Madeira | 大分  |
| s2          | r44  | 6.687          | Hay Point        | 木更津 |
| s1          | r102 | 6.446          | Ponta da Madeira | 呉   |
| s1          | r26  | 6.424          | Dampier          | 北九州 |
| s2          | r15  | 6.387          | Dampier          | 鹿島  |
| s2          | r58  | 5.958          | Newcastle        | 名古屋 |
| s2          | r62  | 5.879          | Newcastle        | 福山  |

表 9.5-7 港間別の年間輸送需要量 上位 20 位

| 積出港              | 荷揚港 | 需要量<br>(トン/年) |
|------------------|-----|---------------|
| Dampier          | 東播磨 | 6,483,728     |
| Port Hedland     | 水島  | 3,988,756     |
| Port Hedland     | 福山  | 3,552,109     |
| Port Walcott     | 下津  | 3,085,960     |
| Port Walcott     | 木更津 | 2,883,233     |
| Port Walcott     | 水島  | 2,809,514     |
| Sepetiba         | 木更津 | 2,521,018     |
| Port Walcott     | 鹿島  | 2,457,146     |
| Port Walcott     | 福山  | 2,391,874     |
| Sepetiba         | 大分  | 2,327,723     |
| Port Walcott     | 大分  | 2,293,269     |
| Tubarao          | 木更津 | 2,192,071     |
| Ponta da Madeira | 大分  | 2,030,031     |
| Saldanha Bay     | 木更津 | 1,981,175     |
| Newcastle        | 鹿島  | 1,980,236     |
| Tubarao          | 大分  | 1,931,778     |
| Ponta da Madeira | 木更津 | 1,789,041     |
| Tubarao          | 下津  | 1,748,264     |
| Dampier          | 福山  | 1,723,950     |
| Hay Point        | 下津  | 1,672,551     |

7.2 節の連携港湾数を変化させた感度分析では、船型 20 万 DWT や船型 30 万 DWT を用いた荷揚港 1 港の場合が、総コストは最も低くなった。この感度分析の結果が、最適化の結果においても顕著に出ている。船型 40 万 DWT の船舶を使用した航路がなく、これは水深の影響によるものだと考察する。故に、9.5.3 節では、更に、水深の制約を緩和した場合の最適化を行う。

### 9.5.3 貨物量の上限と水深の制約を緩和した最適化

貨物量の上限と水深の制約を緩和した場合の結果を 9.5.3 節に記す。結果、総コストの最小値は 189 億 USD/年となった。表 9.5-8 と図 9.5-1 に、9.5.1 節(水深と荷揚げ貨物量を加味した場合)と 9.5.2(貨物量の上限のみ緩和した場合)、9.5.1 節と 9.5.3 節(貨物量の上限と水深の制約を緩和した場合)の総コストの差額を示す。

表 9.5-8 制約の緩和による総コスト削減効果 [差額]

| 貨物量の上限<br>(トン/(回・港)) | 貨物量の上限を<br>緩和した場合の差額<br>(USD/年) | 貨物量と水深の制約を<br>緩和した場合の差額<br>(USD/年) |
|----------------------|---------------------------------|------------------------------------|
| 5万                   | -4,974,596,436                  | -5,236,415,645                     |
| 10万                  | -889,030,319                    | -1,150,849,528                     |
| 15万                  | -5,732,583                      | -267,551,791                       |

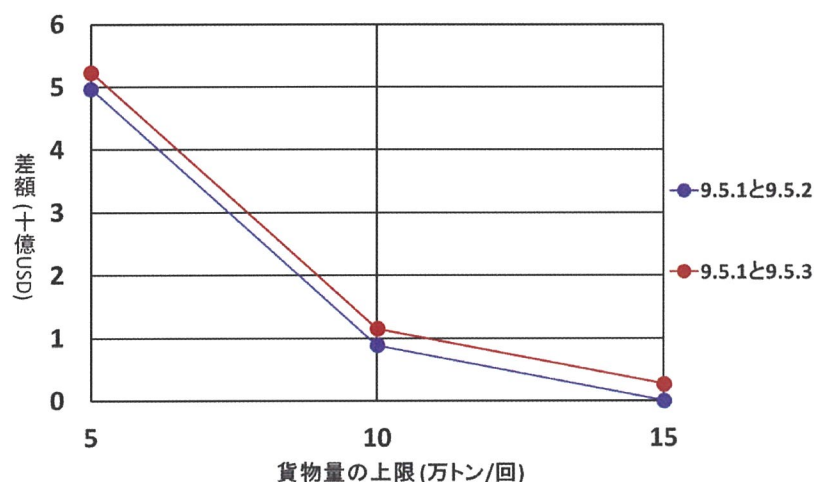


図 9.5-1 制約の緩和による総コスト削減効果 [差額]

図表を見ると、緩和される条件が増える程、差額が大きくなっており、貨物量の上限と水深の制約が緩和された場合の総コストが最も低い。このことから、荷揚げ可能な貨物量が多い程、水深に制約がない程、総コストの削減効果がある事が分かる。9.5.2 節と 9.5.3 節の差額を算出したところ、2.6 億 USD 程度であった。このことから、特に、貨物量の上限が緩和された場合の効果が非常に大きいと言える。1 回に荷揚げ可能な貨物量を増やすには、保管場所・能力を向上させる必要がある。

緩和された状態において、用いられている船舶の船型を知るため、船型別の航路数と就航回数計を表 9.5-9 に示す。



表 9.5-9 船型別の航路数・就航回数計

| 船型<br>(DWT) | 航路数 | 就航回数計<br>(回/年) |
|-------------|-----|----------------|
| 10万         | 20  | 231.699        |
| 20万         | 110 | 464.979        |
| 30万         | 5   | 23.598         |

感度分析の結果から、水深に制約がなかった場合には、船型 40 万 DWT の船舶が用いられると予した。しかし、水深に制約を加えなかった場合においても、船型 40 万 DWT の船舶を用いた航路は利用されなかった。このことから、船型は 10 万 DWT や船型 20 万 DWT 程度まで大型化をすれば良さそうであると言える。

更に、船型別に航路数と就航回数計を見ると、船型 20 万 DWT の船舶を利用する航路が最も多く、就航回数計と見ても、船型 20 万 DWT が最も多かった。また、9.5.2 の水深に制約がある場合と比較して、船型 20 万 DWT の船舶を用いた航路が 30 航路も増加していた。この事からも、日本の鉄鉱石輸入に関しては、船型 20 万 DWT 程度の船舶を用いると総コストを削減する事が出来そうであると言える。

次に、表 9.5-2 に、船型別及び航路別の就航回数計を示す。なお、結果は就航回数計における上位 50 位の船型と航路の組み合わせであり、就航回数が降順となるように示している。

結果、利用される全ての航路は、荷揚港 1 港の航路となった。当然の事ではあるが、9.5.2 と同様に、輸送需要量の多い航路の就航回数が多い結果となった。

表 9.5-2 船型別・航路別の就航回数計 上位 50 位

| 船型<br>(DWT) | 航路   | 就航回数計<br>(回/年) | 積出港              | 荷揚港 |
|-------------|------|----------------|------------------|-----|
| s1          | r74  | 39.888         | Port Hedland     | 水島  |
| s1          | r75  | 35.521         | Port Hedland     | 福山  |
| s2          | r21  | 32.419         | Dampier          | 東播磨 |
| s1          | r84  | 30.860         | Port Walcott     | 名古屋 |
| s1          | r87  | 28.095         | Port Walcott     | 水島  |
| s1          | r65  | 16.321         | Newcastle        | 北九州 |
| s1          | r22  | 15.356         | Dampier          | 水島  |
| s1          | r69  | 14.736         | Port Hedland     | 川崎  |
| s2          | r83  | 14.416         | Port Walcott     | 木更津 |
| s2          | r109 | 12.605         | Sepetiba         | 木更津 |
| s2          | r80  | 12.286         | Port Walcott     | 鹿島  |
| s2          | r88  | 11.959         | Port Walcott     | 福山  |
| s2          | r90  | 11.466         | Port Walcott     | 大分  |
| s2          | r122 | 10.960         | Tubarao          | 木更津 |
| s1          | r91  | 10.358         | Port Walcott     | 北九州 |
| s2          | r148 | 9.906          | Saldanha Bay     | 木更津 |
| s2          | r54  | 9.901          | Newcastle        | 鹿島  |
| s1          | r78  | 9.679          | Port Hedland     | 北九州 |
| s2          | r129 | 9.659          | Tubarao          | 大分  |
| s2          | r96  | 8.945          | Ponta da Madeira | 木更津 |
| s2          | r123 | 8.741          | Tubarao          | 名古屋 |
| s2          | r23  | 8.620          | Dampier          | 福山  |
| s2          | r45  | 8.363          | Hay Point        | 名古屋 |
| s2          | r140 | 8.264          | Mormugao         | 福山  |
| s3          | r116 | 7.759          | Sepetiba         | 大分  |
| s2          | r51  | 7.101          | Hay Point        | 大分  |
| s2          | r85  | 7.083          | Port Walcott     | 下津  |
| s2          | r64  | 7.070          | Newcastle        | 大分  |
| s2          | r67  | 6.871          | Port Hedland     | 鹿島  |
| s3          | r103 | 6.767          | Ponta da Madeira | 大分  |
| s2          | r44  | 6.687          | Hay Point        | 木更津 |
| s1          | r26  | 6.424          | Dampier          | 北九州 |
| s2          | r15  | 6.387          | Dampier          | 鹿島  |
| s2          | r130 | 6.302          | Tubarao          | 北九州 |
| s2          | r112 | 6.042          | Sepetiba         | 東播磨 |
| s2          | r125 | 6.042          | Tubarao          | 東播磨 |
| s2          | r99  | 6.042          | Ponta da Madeira | 東播磨 |
| s2          | r52  | 5.974          | Hay Point        | 北九州 |
| s2          | r58  | 5.958          | Newcastle        | 名古屋 |
| s2          | r62  | 5.879          | Newcastle        | 福山  |
| s2          | r41  | 5.615          | Hay Point        | 鹿島  |
| s2          | r24  | 5.190          | Dampier          | 呉   |
| s2          | r25  | 4.989          | Dampier          | 大分  |
| s2          | r100 | 4.982          | Ponta da Madeira | 水島  |
| s2          | r53  | 4.953          | Newcastle        | 室蘭  |
| s2          | r57  | 4.951          | Newcastle        | 木更津 |
| s2          | r59  | 4.904          | Newcastle        | 下津  |
| s2          | r110 | 4.852          | Sepetiba         | 名古屋 |
| s2          | r89  | 4.851          | Port Walcott     | 呉   |
| s2          | r127 | 4.810          | Tubarao          | 福山  |

## 9.6 鉄鉱石における海上輸入の最適化のまとめ

最適化の結果を制約条件別に、(1)貨物量の上限と水深を加味した最適化、(2)貨物量の上限を緩和した最適化、(3)貨物量の上限と水深の制約を緩和した最適化の3つに分けてまとめる。

### (1) 貨物量の上限と水深を加味した最適化

貨物量の上限と水深の制約がある場合、適切な船型と航路の組み合わせが異なる事が分かった。

貨物量の上限值が小さい場合、複数の荷揚港に寄港する航路が増加する事から、総コストが増加する事が分かった。可能な限り、各船舶を用いて、一括で輸送可能となる状態が望ましい事が明らかになった。それを実現するためには、利用する船舶に応じた保管場所・能力が必要となる。

### (2) 貨物量の上限を緩和した最適化

貨物量の上限がない場合、航路は全て、荷揚港1港のみに寄港するシャトル輸送となった。また、船型20万DWTを用いた航路が最も多く使用される事が分かった。

### (3) 貨物量の上限と水深の制約を緩和した最適化

現在用いられている最大船型40万DWTが、全港湾に入港可能となるように水深を設定したが、船型40万DWTの船舶を用いる航路は利用されなかった。水深に制約がない場合においても、(2)と同様に船型20万DWTを用いた航路が最も多かった。(2)と比較すると、船型20万DWTを用いる航路数は増加しており、日本の鉄鉱石輸入においては、最大船型の40万DWTではなく、船型20万DWT程度の船舶で、非常に大きな削減効果を得られる事が分かった。

緩和条件を変化させて最適化を行ったが、特に1回に荷揚げ可能な貨物量の上限が緩和された場合に、大きな削減効果が得られる事が分かった。故に、港湾の水深整備よりも、まずは保管場所の整備を行った方が良いと言える。

## 9.7 第9章に関する参考文献

- (1) 公益社団法人日本航海学会規格委員会国土交通省国土技術政策総合研究所港湾研究部：次世代の航路計画基準，pp1-8，2004
- (2) 国土技術政策総合研究所：超大型船に対応した航路幅員計画のためのパラメータの算定，資料 No. 696
- (3) 国土交通省：港湾統計（平成 22 年度分年報），〈<http://www.mlit.go.jp/k-toukei/search/excelhtml/01/01201000a00000.html>〉，最終アクセス 2015.07.01
- (4) Informa Group Plc Ltd. (Lloyd's Marine Intelligence Unit)：Bulk and Tanker Vessel Movement Datamase 2010（船舶動静データ），2010
- (5) 海上保安庁：書誌第 405 号『距離表』，1995.06
- (6) 日本航海士会：World-Wide Distance Chart 世界港間距離表，海文堂，日本船長協会監修，2011.01.05
- (7) GNU Linear Programming Kit：〈<http://www.gnu.org/software/glpk/>〉，最終アクセス 2015.07.14



## 第10章 結論

### 10.1 政策に対する提言

国際バルク戦略港湾政策では、具体的な船型や航路の検討、IMO の対策では運航面での検討がまだ十分にされていない。そこで、10.1 節では、本研究から明らかになったことから、(1)目標船型、(2)航路、(3)港湾整備に関して、具体的な提言を行う。

#### (1) 目標船型

今後、船舶の建造や港湾整備をしていく上で、具体的な目標船型を明らかにする必要がある。本研究では、コストを削減するための目標船型について述べる。

感度分析結果より、船型 10 万 DWT までの大型化で非常に大きな削減効果が得られた。一般バルク船の平均船型 6 万 DWT から 10 万 DWT までの大型化を行った場合、本研究の設定では、年間物流コストは 8,566 万 USD 削減された。

日本全体の鉄鉱石輸入を対象とした最適化では、荷揚げ可能な貨物量や水深の制約がなかった場合において、船型 20 万 DWT の船舶を用いた航路が最も多く利用された。貨物量や水深に制約がある場合を現状とすると、貨物量に上限がなく、且つ、船型 20 万 DWT の船舶が入港可能であれば、総コストは 52 億 USD 削減される。

10.1 節でも述べたが、鉄鉱石輸入で用いられている、一般バルク船の平均船型は 6 万 DWT 程度であった。そこで、一般バルク船に関しては、船型 10 万 DWT 程度の大型化を進めていくべきであると言える。6 章で詳細を述べたが、港湾の水深と船型毎の必要水深の関係から、船型 10 万 DWT 程度であれば、水深は -14m 程度必要となる。日本の主要な鉄鉱石の荷揚港はそれ以上の水深を有しているため、港湾整備などに費やす費用を抑える事も出来る。

現状では船型 40 万 DWT の船舶が世界最大の鉄鉱石船であり、最終的に当該船舶を満載状態で入港可能にする事を政策で掲げている。しかし、日本の鉄鉱石輸入においては、船型 20 万 DWT 程度の船舶で十分大きな削減効果を得られたため、保管場所や浚渫工事の目標とすると良い。

また、パラメータを変化させた分析結果から、オーストラリアやブラジルといった、需要量の多い国や航海距離が長距離になる港湾間において、まずは船型の大型化をしていくべきであると言える。特に、両条件を満たしている、ブラジルからの輸入において大型化を進めるべきである。

#### (2) 航路

政策で述べられている港湾の連携、ファーストポートとセカンドポートといった寄港方法に関して具体的な提案がされていないので提案する。

最適化の結果、船型 10 万 DWT や船型 20 万 DWT 程度の船舶を用いて、シャトル輸送を行うパターンが最も多くなった。しかし、1 回に荷揚げ可能な貨物量に上限があった場合で、且つ、その上限値が小さい場合には、複数の荷揚港に寄港する航路が多く利用される結果となった。大型船を用いた場合、積載率を可能な限り高くしなければコストは増加してしまい、大型化をする意味がなくなってしまう。そのため、荷揚可能な貨物量の上限値が積載量と比較して少ない場合には、必然的に複数の荷揚港に寄港する必要がある。そこで、日本の荷揚港に寄港する方法に関して述べる。

各港湾の政策では、戦略港湾(拠点港)からフィーダー輸送を目指しているものもあるが、戦略港湾はファーストポートとして活用した方が良さそうである。また、複数の港湾に寄港する必要がある場合には、荷揚港数は2港程度が良く、荷揚港間が近距離となるような組み合わせが良い事が分析から明らかになった。

### (3) 港湾整備

大型船の導入にあたり、港湾の整備が必ず必要となる。整備に関しては、港湾や航路の水深、岸壁、荷役機械、保管場所など、様々な整備が必要である。本研究では、その中でも、水深と保管場所について着目した。

7.1 節で、船型を変化させた場合の分析を行い、更に、荷揚げ可能な貨物量に上限があった場合の分析を行った。その結果、荷揚げ可能な貨物量がコストに与える影響が非常に大きく、コスト上昇に繋がる事も明らかになった。また、9.5 節の最適化で、保管場所と浚渫工事が総コストに与える影響を見たところ、保管場所の方が大きな影響を与えていた。

現状分析を行ったところ、現在では港湾の水深を考慮した浚渫工事などが進められている。しかし、保管場所や保管能力に関して考慮されていない港湾が殆どであり、政策などでも述べられていない盲点であった。分析結果から、大型船を導入する際、まずは保管場所の整備を重点的に行うと良い事が分かった。

また、本分析では、対象貨物を鉄鉱石として分析したが、他の一括大量輸送しているバルク貨物に対しても同様の事が言える。

## 10.2 研究のまとめと社会的貢献性

研究では、現状分析、感度分析、最適化から、日本の鉄鉱石輸入における物流コスト及びCO<sub>2</sub>排出量を削減に関する検討を行った。分析毎に結果を纏めていく。

### (1) 現状分析

第2章の国土交通省の統計データ<sup>(1)</sup>やLloyd's 船舶動静データ<sup>(2)</sup>を用いた現状の分析では、鉄鉱石専用船及び一般ドライバルク船における平均船型や港湾別の寄港頻度を明らかにした。その結果、鉄鉱石専用船及び一般バルク船において、オーストラリアから日本の港湾に寄港する船舶の平均船型は約12万DWT、ブラジルから日本に寄港する船舶の平均船型は約17万DWTであった。インドや中国から寄港する船舶の平均船型は、約6万DWTと約3万DWTであり、小さな事が明らかになった。鉄鉱石専用船の平均船型が約20万DWTであるのに対し、一般バルク船のみの平均船型は、約6万DWT程度であった。なお、鉄鉱石専用船よりも一般バルク船が大半を占めている。

第3章及び第4章では、日本政府やIMOの掲げている物流コスト及びCO<sub>2</sub>排出量の削減に関する政策を整理した。そこで、掲げている目標と現状を纏め、更に検討が必要な課題の抽出を行った。一般バルク貨物別で比較すると、鉄鉱石の運賃が高い事が明らかになった。港湾毎に目標はあり、既に目標水深に達している港湾もあった。一方で、港湾の連携を考えていく上での企業や港湾同士の取り組みの進捗は不明である。また、日本の主要港湾に入港するためには、船舶の幅湊する航路や湾が多く存在し、船型が大きくなる程、航路幅との兼ね合い、航路通航待ち、荷役待ち、高潮待ち、などの問題が生じる。そのため、大型船の就航にあたり、港湾の水深整備だけではなく、荷役機械の整備、航路整備なども必要である。CO<sub>2</sub>排出量に関しては、技術的な手法は積極的に取り組まれており、抵抗の少ない船体や効率の良い機関の研究などがされている。しかし、運航的手法に関しては、対策がなされていない事が明らかとなった。

### (2) 感度分析

第7章と第8章では、パラメータの変化が物流コスト及びCO<sub>2</sub>排出量に与える影響、具体的な港湾のデータを用いた比較分析などを行った。

その結果、大型化を行うと削減効果がある事が明らかとなり、特に船型10万DWT程度までの大型化による削減効果が大きかった。港湾整備を考慮すると、船型10万DWT程度の船舶であれば、主要な荷揚港(戦略港湾及び連携港湾など)に入港出来るため、非常に実現しやすい目標である。

需要量や航海距離、荷揚げ可能な貨物量に制約があった場合は、それに対する適切な船型がある事が明らかになった。具体的には、需要量は多い程、航海距離は長距離になる程、大型船の優位性を活かせる事が分かった。オーストラリアなどの需要量が多い港湾間やブラジルや南アフリカのような航海距離が長距離な港湾間を対象に大型船の推進を図ると良いと言える。

また、日本の荷揚港による連携は2港程度が良い事が明らかになった。可能であれば、港湾間の距離が短距離な港湾を連携させると良い事が分かった。感度分析と比較分析の結果から、フィーダー輸送よりも、大型船を用いた、複数の荷揚港に寄港する航路が良さそうであると言える。

### (3) 最適化

第 9 章では、感度分析で明らかになった事を元に、物流コスト及び CO<sub>2</sub> 排出量の総コスト(総合評価)による最適化を行った。

荷揚港に保管場所の制約があり、1 回に荷揚げ可能な貨物量が少ない程、総コストは高くなっており、保管場所・能力は用いる船舶に応じて設ける必要がある。

貨物量の上限や水深に制約がなかった場合において、船型 20 万 DWT 程度の船舶が最も多く利用された。現在、世界で運航されている鉄鉱石船の中で最も大きな船型は 40 万 DWT の船舶であるが、日本の鉄鉱石輸入においては、船型 20 万 DWT 程度の船舶で十分であり、貨物の保管場所・能力や港湾の水深は当該船型に合わせて行くと良いと言える。

感度分析や最適化では、様々なパラメータの変化や制約条件が緩和した場合に、物流コスト及び CO<sub>2</sub> 排出量、運航パターン(船型と航路の組み合わせ)などに与える影響を把握した。これは、現状で挙げられている政策に役立つものである。また、将来的に世界的な荷動き量や需要量、生産地などが変化した場合の意思決定に貢献出来る。また、物流コストに与える影響に関して、費用構成にも着目したため、パラメータがどの費用の変化と関係がするのか見る事が出来る。



### 10.3 今後の課題

本研究では、日本の鉄鉱石輸入を対象とした総コストの削減を目標とした分析を行った。その結果、船型 10 万 DWT、若しくは、船型 20 万 DWT 程度の船舶を用いたシャトル輸送が最も効果的であった。特に、船型が 10 万 DWT 程度の場合は、港湾整備などを特にせずとも、大多数の荷揚港が入港可能となることから、非常に有効であると言える。

大型船の導入にあたり、港湾整備における費用対効果や、今後の輸送需要量や荷動き量に対する大型化のリスクなどに関して分析する必要がある。本研究では、社会的な立ち位置から分析を行ったため、海運会社や荷主の経営に関しては考慮していない。今後は、現実問題を考慮した、建造や配船、需要予測などを踏まえた分析も必要である。更に、荷主同士の連携に向けた方策や大型船を導入する実行可能性も検討する必要がある。

また、現状の分析により、海外に鉄鉱石などの資源における海外の中継拠点を設置する動きが明らかとなったが、中継拠点を視野に入れた分析も、今後必要となる。

大型化をする事により物流コストだけではなく、CO<sub>2</sub>排出量が削減される事が分かった。これは、地球温暖化や自然破壊防止に寄与するが、大型船が自然に与えるリスクも考慮しなければならない。例えば、現状で用いられている船舶の船型と大型船が油流出事故を起こした場合の損害などである。

#### 10.4 第 10 章における参考文献

- (1) 国土交通省：港湾統計（平成 22 年度分年報），〈<http://www.mlit.go.jp/k-toukei/search/excelhtml/01/01201000a00000.html>〉，最終アクセス 2015. 07. 01
- (2) Informa Group Plc Ltd. (Lloyd's Marine Intelligence Unit) : Bulk and Tanker Vessel Movement Datamase 2010（船舶動静データ），2010
- (3) 室蘭港湾管理者室蘭市：国際バルク戦略港湾の選定に向けた計画書（公表用資料），pp1-6, 2011. 05. 31

## 謝辞

本研究及び論文の執筆にあたり、多大なご協力と有益な示唆を下さいました方々に、感謝の意をここに示します。

本学の海事システム工学科出身でありながら、快く研究室に受け入れて下さり、ご指導下さいました黒川久幸教授・鶴田三郎教授に感謝の意を示します。学部生の頃より約3年半、非常に多くのご指導とご鞭撻下さいました事に、心から感謝すると共に、先生方のもとで本研究が出来た事を誇りに思います。学術面だけではなく、人間として成長する事が出来たのは先生方のお陰です。

また、副指導教員や副審査などを引き受けて下さいました、遠藤伸明教授、麻生敏正助教に深く感謝申し上げます。研究面だけではなく、学生生活面でも支えて下さいました、岩坂直人教授、庄司るり教授、南清和教授、田丸人意准教授、その他多くの先生方に御礼申し上げます。

ご多忙の中、ヒアリング調査や研究に協力や数々のご助言を下さいました、国土交通省中国地方整備局の内田貴宏様、北海道室蘭市港湾部の長谷川由哉様、北海道室蘭市広報課の田中敏浩様、神奈川県川崎市港湾局の齋藤達雄様、和歌山県県土整備部港湾空港局の芝崎圭佑様、福岡県北九州市港湾空港局の三角直紀様、新日鐵住金株式会社君津製鐵所の薄田様、JFE スチール株式会社西日本製鉄所の藤本正文様、東京海上日動火災保険株式会社の栢沼光彦様、樋本光太郎様、種市雅彦様、Mr. Didier KOSMICKI、竹内玲さん、濱田将邦さん、山崎翔さん、宮島一貴さん、佐藤太一さん、Mr. Quang THANGT、芹澤智子さん、Ms. Ashley GARBBER に深く御礼申し上げます。

本研究室出身である、Mr. Achmad RIADI、鈴木理沙さん、柯晟劼さん、加納俊宏さん、方捷瑶さん、朱威さん、江艾萱さん、蔣国慶さん、鄭英玉さん、周頤さん、呂洋さん、白雲天さん、森翔世さん、博士後期(博士)課程の趙潔さん、咸曉黎さん、博士前期(修士)課程の郭天淳さん、増田匡治さん、張賛さん、付雪さん、青木潤さん、黄渠さん、Ms. Nomvuyo Nkabinde、研究生の梅奥さんには多方面でお世話になりました。

博士前期(修士)課程まで進学させて下さった両親、支えて下さった姉弟、祖父母、先生方、良き友人達に心から感謝致します。

航海士を志して本学に入学し、海運全般から物流分野まで、幅広い知識を身に付ける事が出来ました事は、周囲の皆様のお陰であります。今後は、培った知識を活かし、日本の海運や経済を支えていけるよう、尽力致します。

最後に、今まで支えて下さった、全ての皆様に深く感謝申し上げます。